INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2023

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Investigación científica e innovación tecnológica en ingeniería

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I62 Investigación científica e innovación tecnológica en ingeniería / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1765-1
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.651233008

1. Ingeniería. 2. Innovación tecnológica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

APRESENTAÇÃO

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

FORMA "S" EN LA CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA TRABAJANDO COMO TURBINA

Data de aceite: 22/06/2023 *Data de aceite: 02/08/2023*

Hernán Darío Bolaños-Arias
Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería
Medellín, Colombia
http://orcid.org/0000-0002-9545-1861

Francisco Javier Botero-Herrera
Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería
Medellín, Colombia
https://orcid.org/0000-0002-5254-1517

RESUMEN: La tecnología de las bombas trabajando como turbinas se conoce desde hace mucho tiempo, pero no ha sido desarrollada suficientemente. Todavía no se conoce bien cuales son las características de los fenómenos hidrodinámicos que generan inestabilidad en este tipo de turbomáquinas ni se conoce en que proporción contribuyen a esa inestabilidad. Dado lo anterior, este trabajo tiene como objetivo principal determinar los aportes de algunos fenómenos hidrodinámicos en la inestabilidad de varios puntos de operación de una bomba centrífuga trabajando como turbina. Para ello se construyó la curva característica adimensional n_{ED}-Q_{ED} con 54 puntos de operación. El trabajo se enfocó en la forma "s", una zona de operación en turbinas y bombas-turbinas donde normalmente de presentan importantes pulsos de presión y vibración causados por fenómenos hidrodinámicos. Los resultados obtenidos sugieren que en la turbomáquina objeto de estudio el efecto de fenómenos subsicnrónicos y de fenómenos debidos al paso de álabes va más allá de la forma "s" e involucra la parte baja del modo de operación turbina.

PALABRAS-CLAVE: forma "s", fenómenos subsincrónicos, inestabilidades debidas al paso de álabes, cavitación.

S-SHAPE IN THE CHARACTERISTIC CURVE OF A CENTRIFUGAL PUMP WORKING AS TURBINE

ABSTRACT: The technology of pumps working as turbines has been known for a long time but has not been sufficiently developed. The characteristics of the hydrodynamic phenomena that generate instability in this type of turbomachines are still not well known, and it is not known what proportion they contribute to this instability. Given the above, the main objective of this work is to determine the contributions of some hydrodynamic phenomena in the instability of several operating points of a centrifugal pump working as a turbine.

For this purpose, the dimensionless characteristic curve n_{ED}-Q_{ED} with 54 operating points was made. The work focused on the “s” shape, an operating zone in turbines and pump-turbines where important pressure pulses and vibration caused by hydrodynamic phenomena are usually present. The results suggest that in the turbomachine under study the effect of subsynchronous phenomena and phenomena due to the blade passage goes beyond the “s” shape and involves the lower part of the turbine operating mode.
KEYWORDS: S-shape, subsynchronous phenomena, instabilities due to blade passage, cavitation

1 I INTRODUCCIÓN

Dependiendo del sentido de giro del impulsor las bombas reversibles pueden suministrar energía al fluido o pueden obtener energía del fluido y desempeñarse como turbinas. En este caso se conocen como bombas trabajando como turbinas, o PAT (Pumps As Turbines, por su denominación en inglés). Si bien la tecnología de las PATs no está madura aún, el interés en este tipo de turbomáquinas reside en que la generación de energía es menos costosa en equipamiento en comparación con una turbina convencional para bajos rangos de potencia (Barbarelli et al., 2017; Carravetta et al., 2018).

Dado que los fabricantes de bombas reversibles no suministran las curvas características de las PATs, se hace necesario conocer su comportamiento hidráulico en los diferentes modos de operación, así como identificar inestabilidades que pueden afectar su funcionamiento. La forma “s” está asociada a inestabilidades producidas por vórtices entre los canales de álabes y rotating stall (Hasmatuchi et al., 2011; Widmer et al., 2011), fenómenos periódicos que generan pulsos de presión y vibración. En este trabajo se estudia la contribución de algunos fenómenos hidrodinámicos periódicos en la inestabilidad estática de una bomba centrífuga de baja velocidad específica trabajando como turbina (denominada a partir ahora como PAT), representada por la forma “s” en la curva característica del factor de caudal (Q_{ED}) versus el factor de velocidad (n_{ED}).

La forma “s” ha sido estudiada experimental y numéricamente en turbinas Francis o bombas-turbinas en modo de generación (Hasmatuchi et al., 2011; Olimstad et al., 2012; Widmer et al., 2011; Zuo et al., 2016), pero no así en PATs. En turbinas Francis y en bombas-turbina las forma “s” está influenciada por la apertura de los álabes guía, la geometría del rotor y el coeficiente de cavitación (Zuo et al., 2016). En el caso de la PAT objeto de estudio, es de suponer que la forma “s” estaría gobernada por las dos últimas características ya que no cuenta con álabes guía.

2 I MÉTODOS

2.1 Turbomáquina objeto de estudio y banco de pruebas

La PAT objeto de estudio es una bomba ITT-Goulds de 1.5 HP con un rotor de seis álabes curvados hacía atrás, con diámetro de referencia (D) de 0.08104 m y diámetro externo de 0.14764 m. La PAT se instrumentó con sensores de presión en los orificios de succión y descarga; un sensor de fluctuación de presión y un acelerómetro en la voluta; un sensor de torque en el eje; un medidor de flujo en la tubería de descarga. La instrumentación fue complementada con un tacómetro que midió la velocidad de rotación en el eje y un variador de frecuencia. La PAT fue integrada a un circuito cerrado de tuberías y a una bomba de recirculación, la cual simuló las condiciones de cabeza hidráulica para la PAT. El rotor de la PAT cuenta con seis álabes curvados hacía atrás.

Las señales de los sensores de presión, aceleración, torque, velocidad de rotación y caudal fueron recogidas simultáneamente por un Equipo de Adquisición de Datos (EAD) CompaqRio® de National Instruments®, y procesadas por medio de un software desarrollado por la Universidad Eafit denominado Turbologger. La velocidad de rotación de la PAT fue controlada por medio del variador de frecuencia.

La frecuencia de muestreo de las señales adquiridas fue de 20480 Hz y la duración de cada medida fue de 32 segundos, de allí que cada señal quedo constituida por 655360 datos. En total se registraron 54 Puntos de Operación (PO), con un rango de caudales entre -0.0028 y 0.0107 m^3/s y de velocidades de rotación entre 6.68 y 33.4 s^{-1} (400.8 a 2003.9 rpm). La cabeza hidráulica estuvo entre 5.46 y 6.46 m, con un promedio de 5.83 m. Se aproximó el punto de embalamiento al de menor torque medido, que en este caso fue de 0.03 Nm.

2.2 Curva característica

Los PO corresponden a los cuadrantes 3 y 4 del diagrama de cuatro cuadrantes definido en la norma IEC-60193 (International Electrotechnical Commission, 2019) y están constituidos por los modos de operación que se presentan en la tabla 1. El cuadrante 3 tiene dos grandes zonas de operación que están delimitadas por el punto de embalamiento (Torque = 0) y se espera que la operación de una turbomáquina siempre se de en la zona de turbina, ya que la zona de turbina freno es bastante inestable. El límite entre los cuadrantes 3 y 4 está dado por el caudal igual a cero.

Cuadrante	Nombre	Modos de operación	Observación
3	Turbina	Turbina	Caudal, velocidad y torque positivos
		Embalamiento	Caudal y velocidad positivos. Torque=0
		Turbina Freno	Caudal y velocidad positivos. Torque negativo
4	Bomba Inversa	Rotación inversa	Velocidad positiva. Caudal y torque negativos

Tabla 1. Modos de operación de los cuadrantes 3 y 4

La curva característica considerada en este trabajo es adimensional y se construye a partir de los factores de velocidad (n_{ED}) y caudal (Q_{ED}), definidos como se presenta a continuación (International Electrotechnical Commission, 2019):

$$\boldsymbol{n_{ED}} = \frac{\boldsymbol{nD}}{\boldsymbol{E^{0.5}}} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{Q_{ED}} = \frac{\boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{D^2 E^{0.5}}} \tag{2}$$

donde, es la velocidad de rotación (s^{-1}), *D* es el diámetro de referencia (m), *E* es la energía específica (J/kg) y *Q* es el caudal (m^3/s).

2.3 Fenómenos hidrodinámicos de interés

Estudios realizados en la PAT objeto de estudio sugieren la existencia de perturbaciones de flujo debidas a fenómenos subsincrónicos y al paso de álabes (Bolaños & Botero, 2021), por lo cual se tomaron como fenómenos de interés. Adicionalmente, se consideró como fenómeno de interés la cavitación.

La identificación de los fenómenos subsincrónicos se hizo por medio de un análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia de las señales de sensor de fluctuación de presión. Las señales de fluctuación de presión se representaron en términos del coeficiente de fluctuación de presión $(\tilde{P}_E)$ y la frecuencia en forma de coeficiente de frecuencia (f_n), definidos por la norma IEC 60193 (International Electrotechnical Commission, 2019) de la siguiente manera:

$$\tilde{P}_E = \frac{p-\bar{p}}{\rho E} \tag{3}$$

$$f_n = \frac{f}{n} \tag{4}$$

donde, *p* es la presión (Pa), $\bar{p}$es la presión media (Pa), *p* es la densidad (kg/m^3) y *f* es la frecuencia (s^{-1}).

Para identificar cavitación se usaron las señales del acelerómetro y se utilizó el método de demodulación de una banda de alta frecuencia del espectro por medio de la transformada de Hilbert (Escaler et al., 2006). Las señales de aceleración se filtraron para dejar pasar la banda de los 2500 Hz a 6500 Hz. Con la transformada de Hilbert se obtuvo

la señal analítica (envolvente) y a partir de su espectro se identificaron las frecuencias que modulan la señal filtrada. El análisis de la envolvente resultante en el dominio de la frecuencia permite identificar componentes espectrales asociados al comportamiento dinámico de las cavidades (Escaler et al., 2006).

2.4 Medida de la inestabilidad estática

De acuerdo con Hasmatuchi, Farhat, Roth, Botero & Avellan (2011)(Hasmatuchi et al., 2011), la desviación estándar de las señales de presión en un PO es un indicador de la inestabilidad. A mayor desviación estándar, mayor será la inestabilidad. Sin embargo, el problema de utilizar la desviación estándar cuando se pretende determinar la contribución de algunos fenómenos en la inestabilidad de un PO es que este estadístico no tiene un comportamiento lineal, es decir la suma de las desviaciones estándar de todas las contribuciones no es igual a la inestabilidad total. No obstante, se utilizó este indicador para mostrar gráficamente las contribuciones de los fenómenos hidrodinámicos, pero la estimación del aporte a la inestabilidad se hizo por medio de la varianza, que si tiene un comportamiento lineal. Para determinar la contribución de los fenómenos hidrodinámicos considerados se filtraron las señales de presión representadas como $\widetilde{P}_E$ de los diferentes PO, en las siguientes bandas: $0.5 \leq f_n \leq 0.85$ y $5.95 \leq f_n \leq 6.05$ para los fenómenos subsincrónicos y el paso de álabes, respectivamente. Las señales se filtraron con filtros pasabanda tipo elípticos.

3 I RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inestabilidad estática se presenta cuando un pequeño cambio en el flujo de masa en un punto de operación provoca que las fuerzas de presión que surgen desvíen el sistema a otro punto de operación más lejano (Greitzer, 1981). Esto se puede observar en las curvas características cuando la recta tangente a un punto de operación es positiva. En el caso de turbomáquinas en modo de generación esta situación es típica de la forma “s”. En esta zona para un valor particular del factor de velocidad se pueden presentar varios valores del factor de caudal, lo que significa que la turbomáquina puede estar cambiando de la zona de turbina-freno a la zona de turbina o a la de bomba inversa (Zuo et al., 2016). La figura 1 muestra la curva característica de factor de velocidad (n_{ED}) vs factor de caudal (Q_{ED}). En el caso particular de esta investigación, la forma “s” (destacada con una línea negra continua) se presenta en el modo de operación de embalamiento (resaltado en rojo, PO26) y parte del modo de operación turbina-freno, sin alcanzar los modos de turbina y bomba inversa. En esta figura también se muestra el Punto de Máxima Eficiencia (PME, PO6). La forma “s” está constituida por los PO 26 a 35.

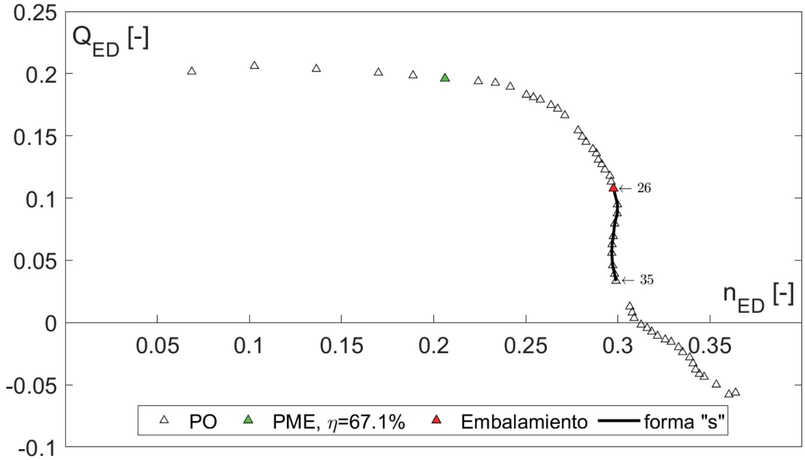


Figura 1. Curva característica Q_{ED}-n_{ED}.

Fuente: elaboración propia

Una forma de representar las inestabilidades del flujo en los diferentes puntos de operación es la superposición de círculos cuyos diámetros representan las desviaciones estándar de las fluctuaciones de presión ($\widetilde{P}_{EDE}$) sobre la curva característica Q_{ED}-n_{ED} (Hasmatuchi et al., 2011). En la figura 2 se observa la aplicación de este método para este caso de estudio, considerando la señal de presión original, es decir, sin filtrar. La escala de referencia corresponde a la mayor $\widetilde{P}_{EDE}$ de los PO registrados, que es la del PO54. Todos los PO están numerados consecutivamente y en la figura 2 solo se etiquetan aquellos que delimitan la forma "s". A partir del PO26 (modo embalamiento) hay un aumento gradual de la fluctuación de presión hasta el PO54 (último punto del modo bomba inversa). En lo que corresponde a la forma "s" (PO 26 a 35), la $\widetilde{P}_{EDE}$ va desde 0.0287 a 0.0414. En el modo de bomba inversa (que inicia en el PO39) la gradualidad no es tan suave como en la forma "s", pero también se da, pasando la $\widetilde{P}_{EDE}$ de 0.0623 a 0.1804. En el modo de turbina, la $\widetilde{P}_{EDE}$ es más homogénea, aunque se nota un leve aumento cuando se acerca al punto de embalamiento (del PO 17 al 25).

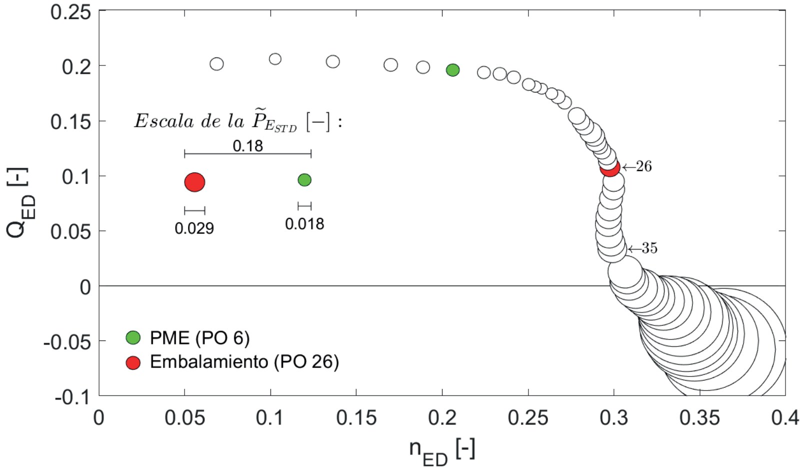


Figura 2. Representación de la $\widetilde{P}_{EDE}$ en la curva característica Q_{ED}-n_{ED}.

Fuente: elaboración propia

Usando el mismo método propuesto por Hasmatuchi, Farhat, Roth, Botero & Avellan (2011) pero con las señales de aceleración sin filtrar, se obtiene lo que se observa en la figura 3. Allí se puede evidenciar que las vibraciones son importantes a partir del PO47 del cuadrante 4 mientras que en el cuadrante 3, donde está la forma "s", no lo son. De hecho, llama la atención que en el cuadrante 3, la zona de menores vibraciones corresponde a la zona de turbina-freno. En esta zona la desviación estándar de la aceleración (a_{DE}) está entre 0.6303 y 0.6845 m/s^2, mientras que, en la zona de turbina, está entre 0.5816 y 0.9411 m/s^2.

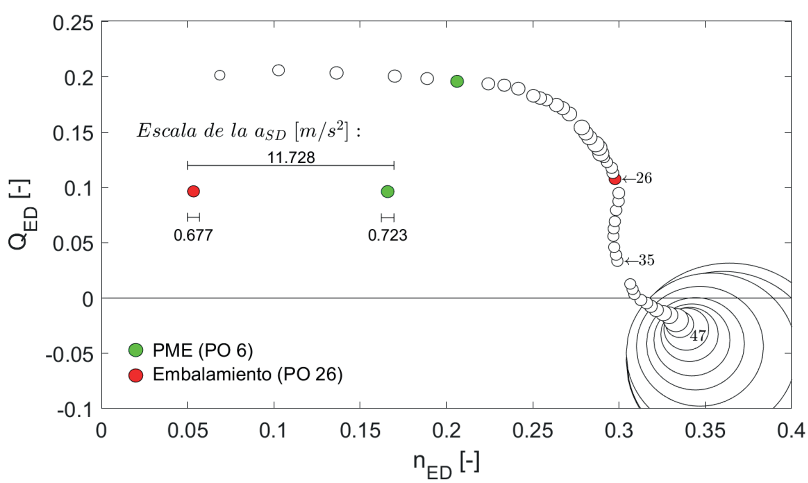
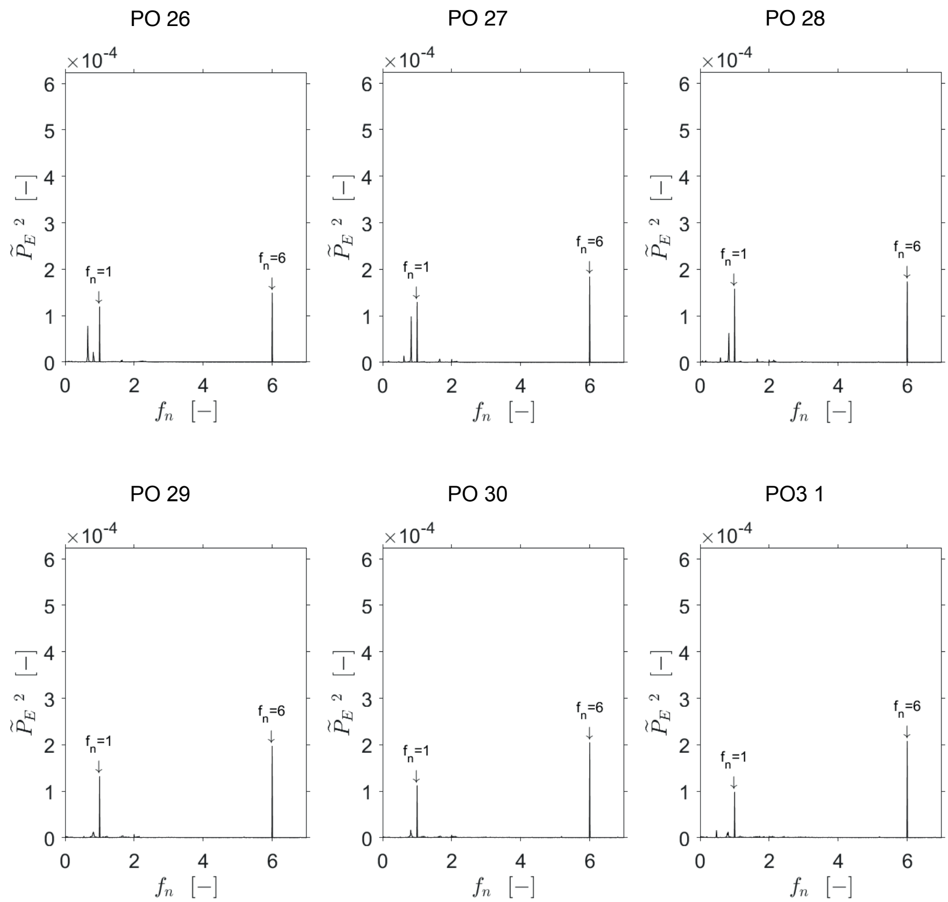


Figura 3. Representación de la desviación estándar de la aceleración (a_{DE}) en la curva característica Q_{ED}-n_{ED}.

Fuente: elaboración propia

El análisis de frecuencia de las señales de $\widetilde{P}_E$ en los PO que corresponden a la forma "s" (figura 4) muestra que los componentes subsincrónicos tienen una potencia espectral significativa solo en los PO 26 a 28. En los PO 29 a 33 apenas se alcanzan a ver y en los PO 34 y 35 ya no se perciben. Mientras que el componente f_n = 6 es importante en todos los PO.



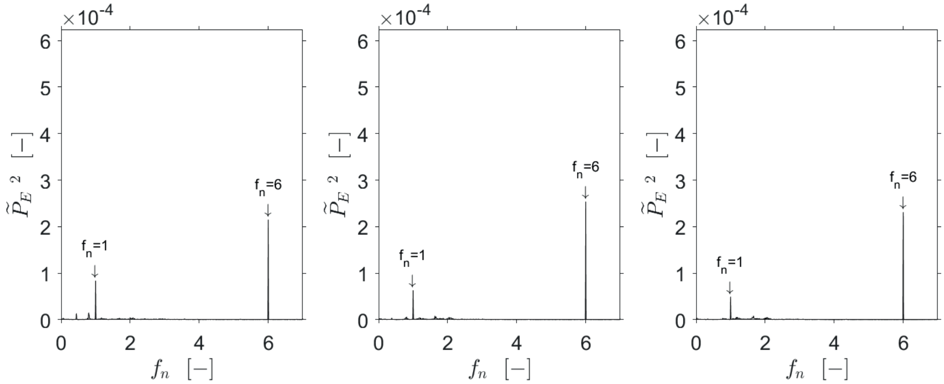


Figura 4. Espectros de potencia de la $\widetilde{P}_E$ para los PO que conforman la forma "s", excepto el PO 35 que es similar al PO 34.

Fuente: elaboración propia

Fenómenos subsincrónicos como el Rotating Stall (RS) ha sido responsable de pulsos de presión y vibración importantes en bombas-turbina en el modo de operación turbina-freno (Hasmatuchi et al., 2011; Widmer et al., 2011). En el caso de esta turbomáquina, la evidencia sugiere que la contribución de fenómenos subsincrónicos en la inestabilidad también es muy importante, pero en una zona de operación que no está contenida en la zona de turbina-freno, sino que abarca la parte baja del modo turbina y la parte alta del modo turbina freno, entre los PO 16 y 28 (véase figura 5). Se estimó que la contribución de los fenómenos subsincrónicos en esta zona se encuentra entre el 16.8 y el 33.4% de la inestabilidad total. En otros puntos de la forma "s" (PO 29 a 35), la contribución es baja y está entre el 2.5 y 9.5%.

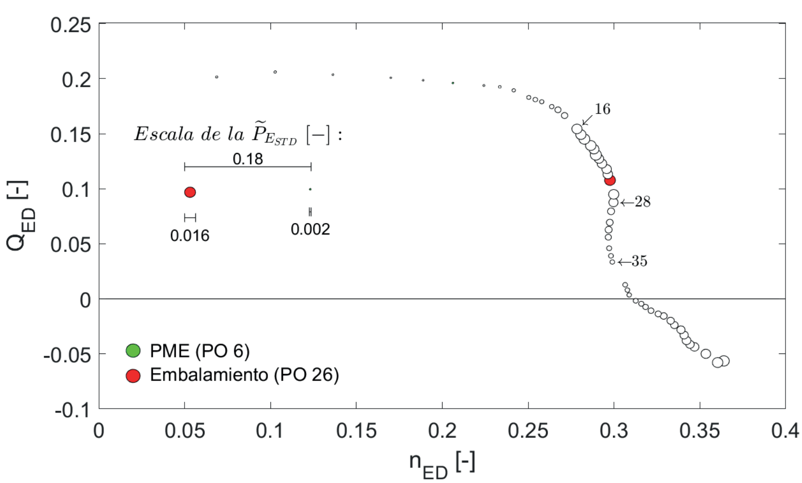


Figura 5. Contribución de fenómenos hidrodinámicos a la inestabilidad total.

Fuente: elaboración propia

Con respecto a las inestabilidades debidas al paso de álabes (véase figura 6), la contribución es mucho más homogénea en todos los PO, aunque es más importante en la zona comprendida entre el PO 21 y el 54. En esta zona en aporte en la inestabilidad representa entre el 8.55 y el 15.9% de la inestabilidad total. En la zona definida por los PO 21 y 35, representa entre el 10.1 y el 15.9%.

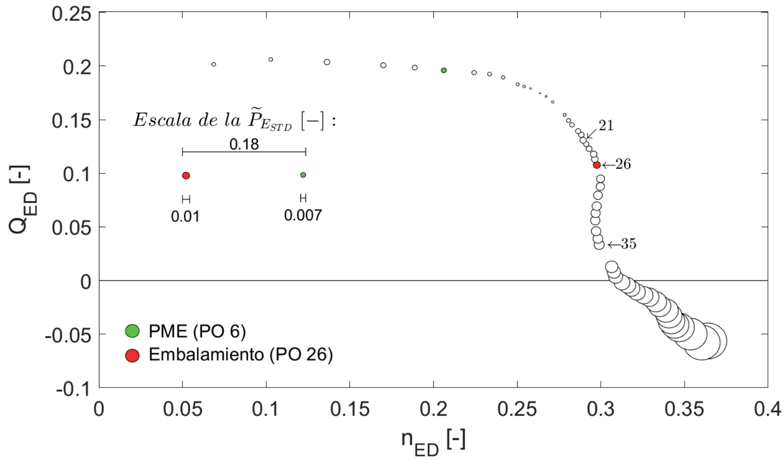


Figura 6. Contribución de inestabilidades debidas al paso de álabes a la inestabilidad total.

Fuente: elaboración propia

Tomando en consideración las inestabilidades debidas a fenómenos subsincrónicos y al paso de álabes en conjunto (véase figura 7), la contribución más significativa estaría dada en la zona comprendida entre los PO 16 y 28, con aportes entre el 29.3 y el 42.3% de la inestabilidad total de cada PO. De estos PO es el de embalamiento el que presenta la mayor contribución a la inestabilidad (42.3%).

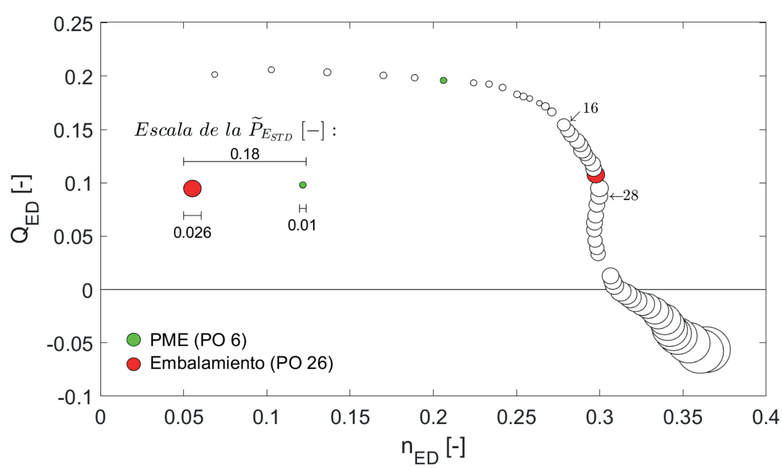


Figura 7.- Contribución conjunta de inestabilidades debidas a fenómenos subsincrónicos y al paso de álabes a la inestabilidad total.

Fuente: elaboración propia

3.1 Inestabilidades de alta frecuencia

Las inestabilidades de este tipo se pueden identificar por medio del análisis de las señales de aceleración. Como se pudo observar en la figura 3, las vibraciones son significativas en la PAT objeto de estudio en el cuarto cuadrante, a partir del PO 47 y hasta el PO 54. A modo de ejemplo, en la figura 8 se muestra un espectro de potencia para la señal de aceleración en el PO 52, donde efectivamente se puede observar que la mayor cantidad de potencia espectral se concentra entre los 2000 y 7300 Hz. Dada esta condición se utilizó el método de demodulación de una banda de alta frecuencia del espectro por medio de la transformada de Hilbert para identificar cavitación (Escaler et al., 2006). Este ejercicio permitió establecer que la señal de alta frecuencia del acelerómetro está modulada en los PO 47 a 54 por componentes fn=1, 2, 4 y 6, siendo el componte fn=6 el más importante por tener la mayor potencia espectral. Esto sugiere que existe cavitación modulada por el paso de álabes, principalmente. La figura 9 muestra a modo de ejemplo el espectro de la señal analítica del PO 52.

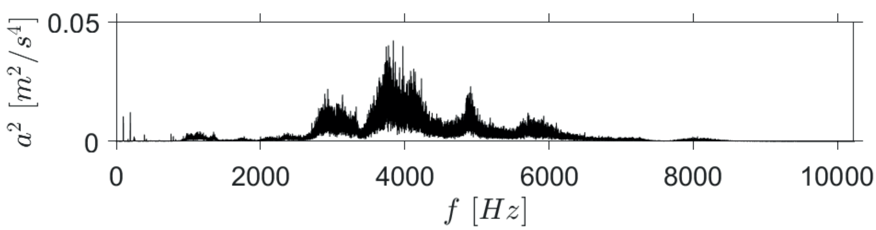


Figura 8. Espectro de potencia de la señal de aceleración para el PO 52.

Fuente: elaboración propia

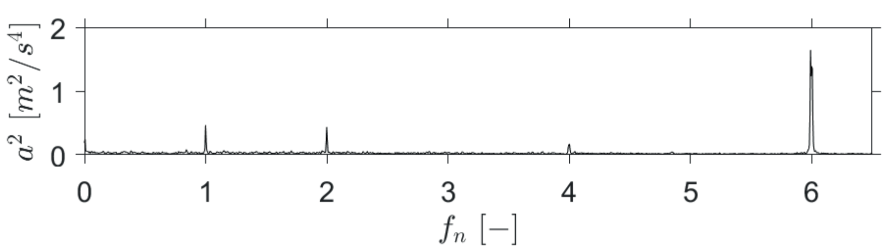


Figura 9. Espectro de potencia de la señal analítica de la aceleración para el PO 52.

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Con respecto a los fenómenos hidrodinámicos considerados, la curva característica (cuadrantes 3 y 4) se puede dividir en dos zonas de inestabilidad separadas por el PO 16. Antes de este punto la $\widetilde{P}_{EDE}$ conjunta (fenómenos subsincrónicos más inestabilidades

debidas al paso de álabes) es bastante uniforme, y después de este punto aumenta gradualmente hasta el último punto (PO54). Nótese que el PO 16 está en el modo de operación turbina, lo cual sugiere que en esta PAT las inestabilidades hidrodinámicas empiezan a ser significativas desde la parte baja del modo de operación turbina y hasta el último PO en el modo de operación bomba inversa.

En el modo de operación bomba inversa, a partir del PO 47 y hasta el PO 54, la evidencia sugiere la existencia de cavitación modulada por el paso de álabes. La evidencia no mostró modulación por parte de componentes espectrales subsincrónicos.

A pesar de que el aporte de los fenómenos subsincrónicos y el de las inestabilidades debidas al paso de álabes es significativa, no representa en ningún PO una contribución mayor al 42.3% (que es la del punto de embalamiento), lo que deja la puerta abierta para investigar cuales son los otros fenómenos hidrodinámicos que están involucrados con la inestabilidad en cada PO.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su gratitud a la Dirección de Investigación, el laboratorio de Hidráulica, el laboratorio de Metrología y el laboratorio de Mecatrónica de la universidad EAFIT, por todo el soporte técnico y logístico brindado para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Barbarelli, S., Amelio, M., Florio, G., & Scornaienchi, N. M. (2017). Procedure Selecting Pumps Running as Turbines in Micro Hydro Plants. *Energy Procedia*, *126*, 549–556. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.282

Bolaños, H. D., & Botero, F. (2021). Four-quadrant characterization of hydrodynamic phenomena in a low specific speed centrifugal pump. *Ingenieria y Universidad*, *25*. https://doi.org/10.11144/Javeriana.iued25.fchp

Carravetta, A., Derakhshan Houreh, S., & Ramos, H. M. (2018). Industrial aspects of PAT design improvement. In S. Choi, H. Duan, Y. Fu, & C. Guardiola (Eds.), *Pumps as Turbines Fundamentals and Applications* (Issue 9783319675060, pp. 59–73). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67507-7_3

Escaler, X., Egusquiza, E., Farhat, M., Avellan, F., & Coussirat, M. (2006). Detection of cavitation in hydraulic turbines. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *20*(4), 983–1007. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.08.006

Greitzer, E. M. (1981). The Stability of Pumping Systems—The 1980 Freeman Scholar Lecture. *Journal of Fluids Engineering*, *103*(1), 193–242.

Hasmatuchi, V., Farhat, M., Roth, S., Botero, F., & Avellan, F. (2011). Experimental Evidence of Rotating Stall in a Pump-Turbine at Off-Design Conditions in Generating Mode. *Journal of Fluids Engineering*, *133*(5), 051104. https://doi.org/10.1115/1.4004088

International Electrotechnical Commission. (2019). *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Model acceptance tests (IEC 60193:2019)*. BSI Standards Limited.

Olimstad, G., Nielsen, T., & Brresen, B. (2012). Stability limits of reversible-pump turbines in turbine mode of operation and measurements of unstable characteristics. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, *134*(11). https://doi.org/10.1115/1.4007589

Widmer, C., Staubli, T., & Ledergerber, N. (2011). Unstable Characteristics and Rotating Stall in Turbine Brake Operation of Pump-Turbines. *ASME J. Fluids Eng.*, *133*(4), 41101. https://doi.org/10.1115/1.4003874

Zuo, Z., Fan, H., Liu, S., & Wu, Y. (2016). S-shaped characteristics on the performance curves of pump-turbines in turbine mode - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 836–851. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.312

CHARACTERIZATION OF A-319 ALUMINUM THROUGH THE ADDITION OF MASTER ALLOY AL-MG-CE APPLYING MECHANICAL AGITATION

Data de aceite: 02/08/2023

J.S. LUNA ALVAREZ
Faculty of Engineering, Autonomous University of Coahuila, Edificio D Unidad-Campo Redondo, Saltillo, Coahuila, Mexico

J.A. VILLARREAL SANCHEZ
Faculty of Engineering, Autonomous University of Coahuila, Edificio D Unidad-Campo Redondo, Saltillo, Coahuila, Mexico

G.D .OLVERA ROMERO
Faculty of Engineering, Autonomous University of Coahuila, Edificio D Unidad-Campo Redondo, Saltillo, Coahuila, Mexico

F.GARCIA VAZQUEZ
Faculty of Engineering, Autonomous University of Coahuila, Edificio D Unidad-Campo Redondo, Saltillo, Coahuila, Mexico

A. FLORES
Cinvestav Unidad Saltillo, Carretera Saltillo-Monterrey

ABSTRACT: The influence of cerium (Ce) on the as-cast microstructure and mechanical properties of the A-319 alloy were investigated. The A-319 experimental alloys were prepared. The aluminum,magnesium, cerium master alloy was added into the molten bath The cerium content increased 0 to 0.12 wt.% after 15 min of treatment. To obtain kinetic information and metallographic, samples were analyzed by using Scanning Electron Microscope (SEM) respectively. Dross samples were taken and analyzed by X-ray diffraction (XRD) for the qualitative identification of the crystalline compounds. The tensile properties, including ultimate tensile strength, yield strength. Elongation and creep properties of the as-cast experimental alloys were established. This result indicate that the incorporation of Ce to the A-319 alloy cause change in the morphology and distribution of the phase. Nevertheless, the grain size tended to be effectively refined. Furthermore, adding 0.12 wt.% Ce to the A-319 alloy improves the tensile properties at room temperature.
KEYWORDS: Al-Ce-Mg master alloy; Modification; Mechanical properties.

1 I INTRODUCTION

Al-Si alloys are mainly used in automotive and aerospace industries. The demands on the mechanical properties

require a strict control on the additions of refinements and modificants in the melt bath.[1] The wide variety of alloys that are produced has led to the manufacture master alloys which are of great importance in the industry of aluminum smelting. [2] The use of rare earth has been the led the attention of researchers because aluminum alloys with rare earths such as cerium change the morphology of the eutectic silicon in Al-Si alloys resulting in better physical and mechanical properties. [3] This study proposes to addition master alloys Al-Mg-Ce based on the reduction of CeO_2 powder for subsequent conversion to Ce by aluminothermic reduction using scrap aluminum (beverage cans) and magnesium. [4]



2 I EXPERIMENTAL PROCEDURE

The experiments were carried out using an *inductotherm* brand 70 kW *PowerTrack 75-30* electromagnetic induction oven in a silicon carbide crucible with a capacity for 10 kg of liquid aluminium. In the furnace, 500 grams of a-319 aluminum was melted, later the generated slag was removed, followed by the addition of 500 grams of master alloy Al-Mg-Ce this alloy containing 3.40% cerium and 2.5% magnesium. Immediately, mechanical agitation was given for 15 minutes and immediately samples were taken for chemical and metallographic analysis and tensile test.

Throughout the experiments, the following conditions were kept constant:

- amount of aluminium A-319: 5,000 g.
- Added amount of master alloy: 500 g.
- Stirring rate: 80 rpm
- Treatment time: 15 min.
- Temperature 750°C

2.1 Characterisation

The Ce and Mg contents in the aluminium alloy were analyzed chemically by means of atomic absorption spectroscopy and spark emission spectroscopy, respectively. Phases were identified by X-ray diffraction (XRD).

The samples were also analyzed in a SEM using energy dispersive spectroscopy (EDS).

3 I RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Chemical analyses

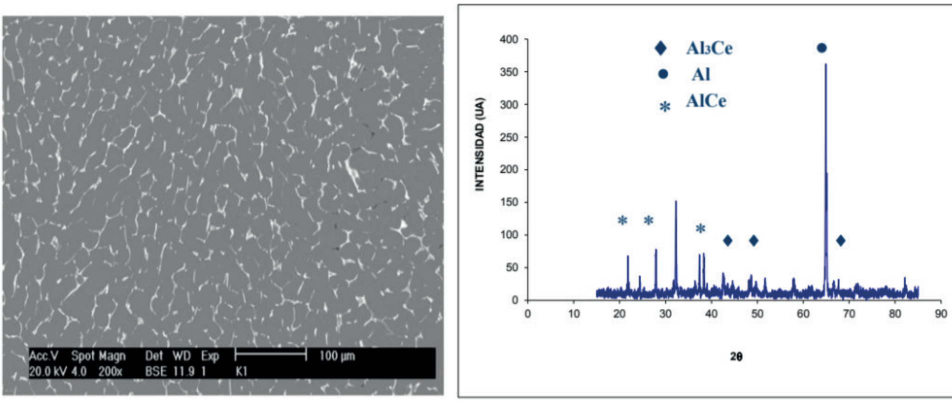
Figure 1 shows the results of the chemical analysis of samples obtained by means of metallothermic reduction, with the Al-Mg-Ce master alloy.The figure demonstrates the incorporation of Ce was of 0.12 %e.p and temperature of the liquid bath was 750°C. The treatment time was 15 minutes.

Elements	Al	Fe	Cu	Mn	Si	Mg	Zn	Ti	Ce
Alloy A-319	87.93	0.52	3.30	0.30	7.32	0.28	0.25	0.10	0
Modified Alloy	87.62	0.53	3.31	0.32	7.28	0.47	0.25	0.10	0.12

Figure 1. Chemical analysis of aluminium A-319 and modified aluminium.

3.2 X-ray diffraction

Figure 2 represents a PDRX obtained from the Al-Mg-Ce alloy used as an addition to an A-319 aluminum alloy. The peaks recorded in the PDRX identify the main compounds. Al_3Ce and Al, the presence of the oxides MgO and $MgAl_2O_4$ is not registered.



(a) (b)

Figure 3. (a) Micrograph of the Al-Mg-Ce master alloy analyzed by X-ray diffraction. (b) X-ray diffraction pattern of the Al-Mg-Ce alloy.

3.3 Scanning electron microscopy (SEM).

Figure 4 shows the morphology of the intermetallic Al_3Ce precipitated in the samples with high cerium content, and it is observed that the intermetallic presents a two-dimensional planar growth in the form of needles of considerable thickness, in a A-319 aluminum.

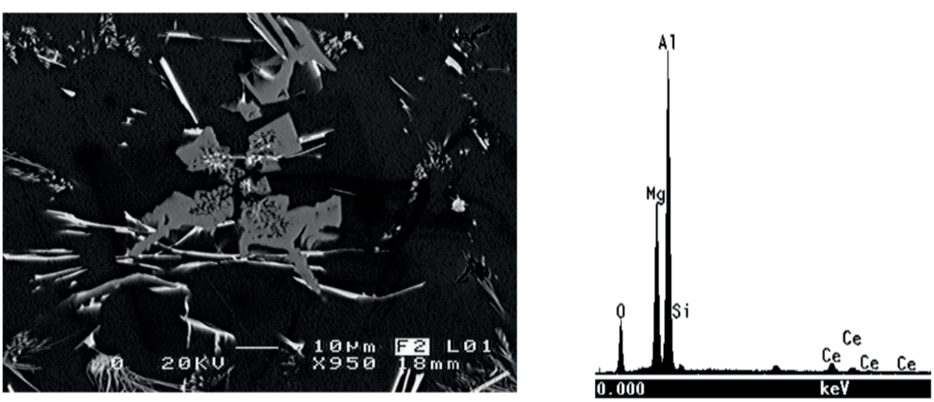
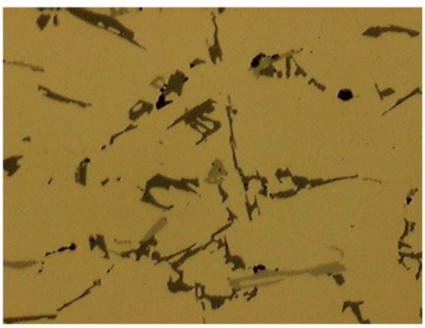


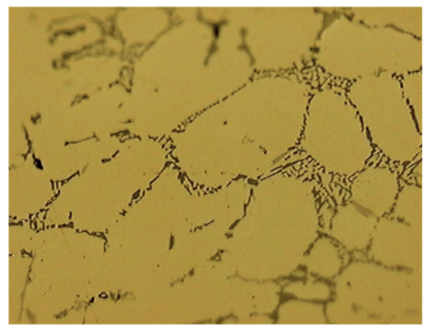
Figure 4. The microstructures of the alloys were observed by (SEM) analysis, the cerium content in the A-319 Alloy was increased to 0.12 wt% after 10 min of treatment. The cerium content benefits the morphology of the eutectic silicon in Al-Si alloys. [5]

3.4 Modification degree of eutectic silicon in an a-319 alloy by adding al-mg-ce master alloy.

Figure 5. Shows a comparison of the samples before the treatment and after the modification treatment, the conditions were as follows: temperature 750°C, stirring time 15 minutes. In the micrographs obtained, the morphology of the eutectic silicon can be observed. Before starting the treatment, the silicon presented a needle morphology, and once the Al-Mg-Ce alloy was incorporated, it shows a eutectic silicon structure in an acicular shape, presenting degree 3 of modification, being a typical structure in Al-Mg-Ce alloys. If modified, which provide good mechanical properties.



(a)



(b)

Figure 5. Shows the micrographs (a) before the modification test 500X (b) after the modification test, 500X.

3.5 Tensile test, A-319 alloy adding Al-Mg-Ce master alloy.

The values obtained in the tensile tests carried out on the unmodified A-319 alloy and on the same already modified A-319 alloy are shown , With the master alloy Al-Mg-Ce, the results obtained for the unmodified A-319 alloy were: Maximum stress 145 Mpa with a hardness of 52HB and for the modified A-319 alloy were: Maximum stress 199 Mpa with a hardness of 74 HB.

For this study, an increase of 37% was achieved with respect to the maximum stress of aluminum A-319 and with respect to hardness it was 42% with respect to the original sample, this being significant since this aluminum is used for manufacturing of engine heads and monoblocks in the automotive industry.

CONCLUSIONS

- The cerium content in the Aluminium A-.319 was increased to 0.12 wt% after 15 min o treatment.

- Change in the morphology and distribution of the phase, the grain size tended to be effectively refined.
- The tensile properties and hardness were satisfactory.
- The parameters of temperature and amount of aluminum and master alloy were satisfactory.

REFERENCES

1. LUNA J. FLORES A, MUÑIZ R, FUENTES A, TORRES J, RODRIGUEZ N, ORTIZ J, OROZCO P. Cerium extraction by metallothermic reduction using cerium oxide powder injection [J]. Journal of Rare Earths, 2011, 29 (1): 74-79.

2. YANG M B, HOU M D, ZHANG J, PAN F S. Effects of Ce, Y and Gd additions on as-cast microstructure and mechanical properties of Mg-3Sn-2Sr magnesium alloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of china, 2014, 24: 2497-2506.

3. DUAN R, BAI P, YANG J, ZHANG W, DING H. Influence of Rare Earth Modification and Homogenization on the Microstructure and Mechanical Properties of Recycled Can 3004 Aluminum [J]. The Journal of Wuhan University of Technology-Materials Sciense, 2014, 29(2): 264-268.

4. ESCOBEDO J, HERNANDEZ J, FLORES A. Estudio Cinético de la Eliminación de Mg en las Aleaciones de Aluminio Mediante la Inyección de Polvos de Sílice [J]. Revista de Metalurgia (Madrid), 2003, 9:171-182.

5. FLORES A, MARTINEZ C, ESCOBEDO J, TOSCANO J.A Kinetic of Demagging of Molten Aluminium by the Use of SiO2 Submerged Powder Injection [C]. Light Metals, 1999. Aluminum Committee at the 128th Tms Annual Meeting.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO CINÉTICO Y MORFOLÓGICO DE LA DESCOMPOSICIÓN DE FASES EN ALEACIONES BINARIAS A-B: MOVILIDAD ATÓMICA

Data de aceite: 02/08/2023

Susana Lezama Alvarez
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de estudios Superiores de Coacalco (TESCo)

Raquel Eunice Hernández Ramírez
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de estudios Superiores de Coacalco (TESCo)

Octavio Trejo Chavero
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de estudios Superiores de Coacalco (TESCo)

Julio González García
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de estudios Superiores de Coacalco (TESCo)

RESUMEN: En este trabajo se llevó a cabo la simulación numérica de la descomposición de fases para un sistema de aleación hipotética binaria A-B. Dicho procedimiento se llevó a cabo dando solución a la Ecuación Diferencial no lineal de Cahn y Hilliard, utilizando el método explícito de diferencias finitas. En el método numérico se utilizó una malla de 101 X 101 nodos con composiciones de la aleación hipotética de 37.5 y 50% at. Cabe mencionar que dichas aleaciones son generalizadas y pueden ser eventualmente aplicadas a sistemas reales aleación con buenas aproximaciones. Tal es el caso del presente trabajo en cuanto a cinética y morfología de las fases descompuestas, ya que se observó que, al ser comparados con resultados experimentales en condiciones similares de temperatura, composición y naturaleza de las fases, tuvieron comportamientos satisfactoriamente cercanos. En términos generales las aleaciones simuladas presentan el comportamiento característico de la descomposición espinodal, como son el incremento en las fluctuaciones de composición con el tiempo de envejecido y morfología interconectada e irregular.

PALABRAS-CLAVE: Descomposición de fases, microestructuras, movilidad atómica, simulación microestructural.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se utiliza el Método de Campo Continuo para analizar la transformación de fase a diferentes tiempos de envejecido en aleaciones binarias (Rapaz et. al., 2010), con el

propósito de analizar la influencia que tiene la Movilidad atómica en aleaciones hipotéticas A-B para que éstas sufran una trasformación de fase llamada descomposición espinodal. Lo anterior se llevará a cabo mediante simulación numérica con la finalidad de estimar los cambios que sufren las aleaciones en tanto se ve afectada la movilidad atómica que es inherente a la naturaleza de la aleación.

En simulación microestructural, se han utilizado diferentes métodos numéricos, como el Método de Campo de Fases o Método de Campo Continuo (Kostorz, 2010). Una de las aplicaciones de este método es la simulación microestructural de la descomposición de fases en sistemas de aleación que presentan laguna de inmiscibilidad (Descomposición espinodal).

El propósito de este trabajo es analizar la influencia que tiene la Movilidad atómica en aleaciones hipotéticas A-B

Para ello se aplicó el método explícito de diferencias finitas, basado en una malla de 101 X 101 nodos con un intervalo de espacio *dx* de 1 nm. e intervalos de tiempo de 0.0001 s. Las composiciones estudiadas fueron de 37.5% y 50% at. A.

Para la mayoría de los casos los resultados se enfocaron para una composición inicial de 50% at. A, debido a que se observaron resultados más representativos.

Los tiempos de simulación varían de acuerdo con el alcance del equilibrio del sistema. Los resultados de las simulaciones demostraron buenas aproximaciones con sistemas reales en cuanto a morfología, cinética y evolución microestructural.

METODOLOGÍA NUMÉRICA

Método Numérico y Programa de Cómputo

La descomposición espinodal corresponde a un fenómeno difusivo en el cual el sistema inicial de una solución sólida sobresaturada de aleación binaria se descompone a una temperatura constante de envejecido en una fase rica en A y una fase rica en B de acuerdo con la ecuación 1.

$$\text{Solución Sólida (A-B)} \rightarrow \text{fase rica en A} + \text{fase rica en B} \qquad (1)$$

Las aleaciones con este comportamiento presentan una zona en el diagrama de fases llamada laguna de inmiscibilidad que se muestra en la figura 1. Este comportamiento fue descrito en la Teoría de Descomposición Espinodal de Cahn y Hilliard (Kostorz, 2001) mediante una ecuación diferencial parcial no lineal correspondiente a la ecuación 2.

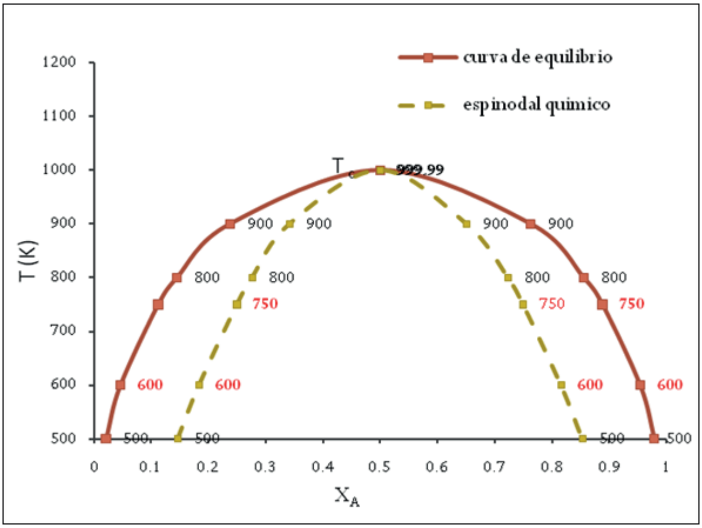


Figura 1. Laguna de inmiscibilidad y espinodal químico para un sistema binario (Lezama, 2013).

Esta ecuación ha sido la base para la modelación numérica de diferentes fenómenos de transformaciones de fase tales como la solidificación, descomposición de fases, recristalización, entre otros. En éste trabajo la ecuación 1 se resuelve mediante el método explícito de diferencias finitas (Rapaz et. Al., 2010).

$$\frac{\partial c_i(x,t)}{\partial t} = M_i \nabla^2 \left(\frac{\partial f_o(c)}{\partial c_i} - K_i \nabla^2 c_i \right) \qquad (2)$$

Donde $c_i(x,t)$ es la concentración en función de la distancia x y del tiempo t, M es la movilidad atómica, misma que se estudia en este trabajo, f_0 es la energía libre local y K es el coeficiente del gradiente de energía.

La movilidad M se relaciona al coeficiente de interdifusión D y el término $\frac{\partial c_i(x,t)}{\partial t}$ representa la concentración en función de una distancia, x, y de un tiempo, t, el término $\frac{\partial f_0(c)}{\partial c_i}$ es la fuerza motriz o fuerza impulsora para la descomposición del sistema de aleación.

El método numérico que se menciona ha sido programado en el lenguaje FORTRAN 95. Las composiciones simuladas de 50% at. A y 37.5% at. A corresponden a composición simétrica y asimétrica respectivamente. Lo anterior se debe a su posición en el diagrama de energía libre contra composición f_0 *vs* X_A, siendo para el primer caso de composición la máxima fuerza motriz o fuerza impulsora de la descomposición espinodal del sistema dado.

Modelación de los diferentes casos

Las simulaciones se realizaron de acuerdo al cuadro 1, que muestra tres casos de Movilidad: cuando es constante e igual a 1, cuando es constante diferente de 1 y cuando es variable en función de las fluctuaciones de composición conforme avanza el tiempo de envejecido.

CASOS	VALORES DE MOVILIDAD
Caso 1	M= 1
Caso 2	M= 0.01 y M= 100
Caso 3	M= 1-c^2

Tabla 1. Variación de la movilidad en la ecuación de Cahn y Hilliard

Para los casos 1 y 2, se utilizó la ecuación 2 tal como se ha mencionado, sin embargo, para el caso 3, se introduce la movilidad en función de la composición (ecuación 3), modificando la ecuación de Cahn y Hilliard.

$$M = 1 - c^2 \tag{3}$$

Al introducir la ecuación 3, la ecuación de Cahn y Hilliard (ecuación 2), se modifica quedando como la ecuación 4.

$$\frac{\partial c_i(x,t)}{\partial t} = \nabla\left[M_i \nabla\left(\frac{\partial f_i(c)}{\partial c_i} - K_i \nabla^2 c_i\right)\right] \tag{4}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Movilidad, fluctuaciones de composición y cinética de descomposición de fases

Al modificar la movilidad atómica, se observó un efecto en la cinética de descomposición, mismo que se puede apreciar en las fluctuaciones de composición con el tiempo de envejecido, que se incrementan con mayor rapidez conforme aumenta el valor de la movilidad. Esto se debe a que el coeficiente de interdifusión D^*, está relacionado directamente con la movilidad atómica (Kostorz, 2001) de acuerdo con la ecuación 5.

$$M = \frac{D^*}{\frac{\partial^2 f}{\partial c^2}} \tag{5}$$

La ecuación indica claramente que la movilidad atómica se relaciona con el coeficiente de difusión D^*, de tal manera que la cinética se ve afectada. Al aumentar el valor

de la movilidad, aumenta la difusión y por lo tanto se incrementa la rapidez de la variación de concentración con el tiempo de envejecido ∂c/∂t.

Este efecto se puede apreciar en las figuras 2 (a-c) para los tres casos simulados de movilidad atómica. Esta figura corresponde a los perfiles de composición, que presentan las fluctuaciones a través del tiempo de envejecido incrementándose en mayor medida conforme aumenta el valor de la movilidad atómica. Las crestas indican las zonas ricas en A y los valles las zonas ricas en B. Este comportamiento es característico de la descomposición Espinodal comparado con casos reales (Ávila 2009). Las figuras sugieren un efecto directo de la movilidad atómica en la difusión y por tanto mayor cinética de descomposición espinodal.

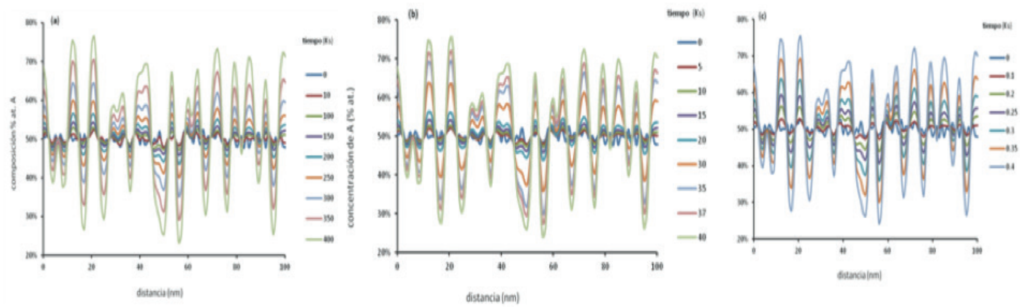


Figura 2. Influencia de la movilidad en las fluctuaciones de composición; (a) M=0.1, (b) M=1, (c) M =100.

El efecto de la movilidad en la cinética de descomposición está relacionado directamente con las fluctuaciones de composición conforme avanza el tiempo de envejecido, ya que la longitud de onda característica en la descomposición espinodal permanece prácticamente constante de acuerdo a la teoría de Cahn y Hilliard (Kostorz, 2001).

Para los valores de movilidad estudiados, el efecto en la cinética de descomposición se puede ver más claramente en el análisis de la longitud de onda con respecto al tiempo de envejecido que corresponde a la figura 3, misma que al comparar el inicio y el final de los tiempos de descomposición indica que a mayor movilidad, mayor cinética de descomposición de fases, es decir, comienza y termina a tiempos más cortos a medida que se incrementa el valor de la movilidad.

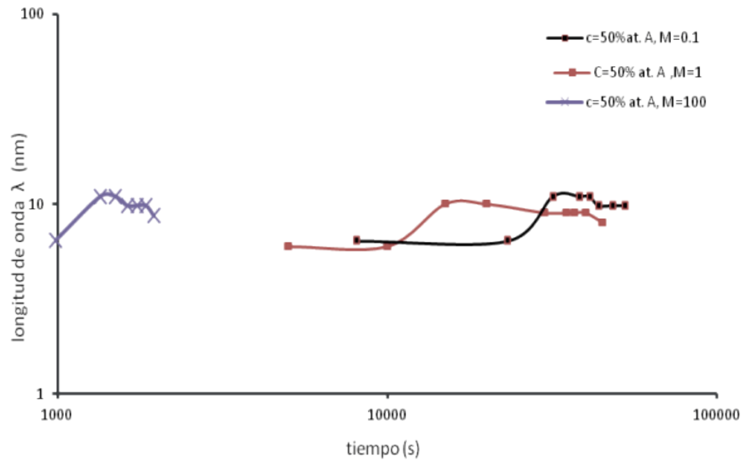


Figura 3. Variación de la longitud de onda promedio con el tiempo de envejecido. Cinética de descomposición de fases a diferentes valores de movilidad.

Movilidad y Morfología de las fases descompuestas

Como ya se ha mencionado, la movilidad atómica ejerce un efecto directo en la cinética de descomposición de fases. Este efecto también es notable en la evolución Microestructural de aleaciones simuladas que se aprecia en las figuras 4 (a-c), en donde las regiones oscuras corresponden a la fase rica en el componente A y las regiones claras a la fase rica en B. Así mismo, las figuras presentan una morfología interconectada e irregular y una separación de fases considerablemente mayor en tiempos de envejecido menores conforme aumenta el valor de la movilidad. Éste comportamiento caracteriza a la descomposición espinodal en sistemas reales (Ávila, 2009). En la figura se presentan las microestructuras que corresponden a la composición de equilibrio, es decir, se alcanza el equilibrio a menores tiempos de envejecido, en donde *t* está en kilosegundos (Ks), conforme se incrementa el valor de la movilidad.

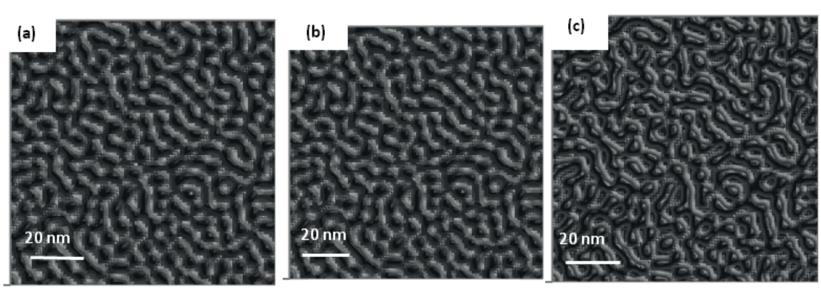


Figura 4. Evolución Microestructural. Efecto de la movilidad en la morfología a diferentes tiempos de envejecido (a) t= 400 ks, (b) t= 40 ks, (c) t= 0.6 ks.

Movilidad Variable durante el proceso de envejecido. Cinética y morfología de descomposición espinodal M=1-c²

Cuando la microestructura se ve afectada por una movilidad variable, cuyo efecto se introduce en la ecuación 2, se tiene como resultado la ecuación 4 cuyo efecto en la simulación se aprecia en las figuras 5(a-f) para dos valores de composición inicial c=50% at. A y c=37.5% at. A. Bajo estas condiciones se aprecian dos efectos: el primero que partiendo de una composición mayor, da como resultado una cinética de descomposición mayor que cuando se parte de una composición de 37.5% at. A. En trabajos anteriores se ha demostrado que lo anterior se debe a la fuerza impulsora o fuerza motriz de la descomposición espinodal en el diagrama de energía libre vs composición, misma que es mayor cuando se parte de una composición mayor (Lezama, 2013). Durante el tiempo de envejecido la cinética se incrementa debido a la composición variable en el proceso. El término de composición variable se encuentra elevado al cuadrado, lo que afecta en la solución numérica de la ecuación 4, dando lugar a una cinética moderadamente mayor con respecto a valores muy altos de movilidad constante estudiados (*M=100)*.

El segundo efecto de Movilidad variable se aprecia en la morfología, que se ve afectada dando lugar a fases interconectadas e irregulares, esta vez en forma de láminas, conforme avanza el tiempo de envejecido de las aleaciones simuladas. Se ha comprobado que este comportamiento lo presentan algunas aleaciones reales.

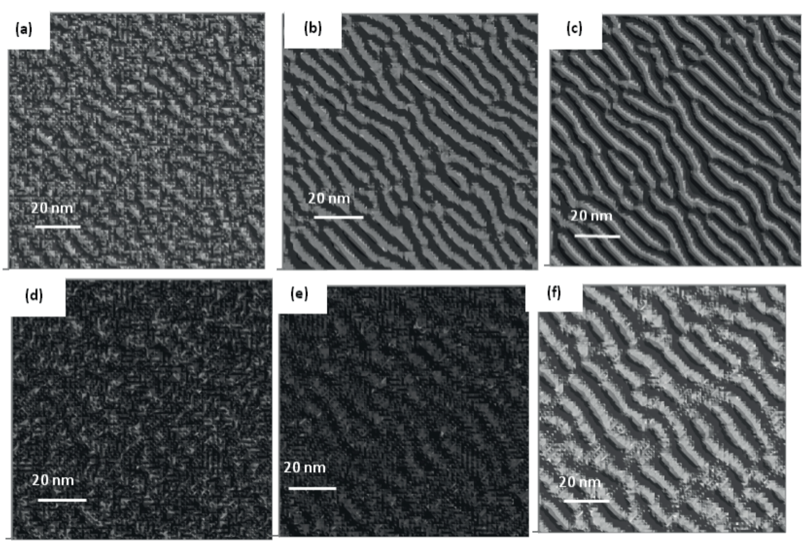


Figura 5. Efecto de la movilidad en la evolución Microestructural. Con c= 50% at. A (a) 10 ks, (b) 30 ks y (c) 50 ks; y con c=37.50% at. A para (d) 10 ks, (e) 20 ks y (f) 70 ks.

COMENTARIOS FINALES

Resumen de resultados

En este trabajo se compararon los efectos de la movilidad atómica en la cinética y morfología de la descomposición espinodal para sistemas de aleación hipotética binaria A-B. De lo anterior pudo observarse que a mayor movilidad, mayor efecto en la cinética de descomposición, mientras que al introducir la movilidad como una función de la composición, se observó un efecto notable en la morfología de las fases descompuestas a medida que transcurre el tiempo de envejecido.

Los resultados mostraron en ambos casos muy buena concordancia en cuanto a datos experimentales y simulados con anterioridad por otros autores (Melo, 2009; Ávila, 2009; Honjo, 2000).

CONCLUSIONES

Después de haber realizado estas simulaciones, se comprobó que el modelo matemático es adecuado para describir este comportamiento de las aleaciones que presentan descomposición espinodal y así poder simularlos mediante el método de diferencias finitas con un programa realizado en FORTRAN 95.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la movilidad atómica está relacionada en términos generales con la difusión en sólidos, misma que en la práctica podría modificarse al cambiar la temperatura del tratamiento térmico, la proporción de los elementos de la aleación (composición) y/o los tiempos de envejecido.

RECOMENDACIONES

Se recomienda este método para realizar simulaciones previas de aleaciones binarias que presenten descomposición espinodal para su estudio, ya que los resultados de perfiles de composición, evolución microestructural y comportamiento de las fases con el tiempo de envejecido y variación de los parámetros involucrados, presentan muy buenas aproximaciones con aleaciones reales.

REFERENCIAS

M. Rapaz, M Bellete, M. Deville, “Materials Modelling in Materials Science and Engineering”, first. Ed., Springer- Velarg, Berlin 2010

L.Q. Chen, Phase field modeling of material microstructure, in: Z. Xiao Guo (eds.), Multiscale materials modeling, CRC Press, LLC, USA, 2007, pp 68-83

G. Kostorz, Phase Transformations in Materials, second ed., Willey-VCH, Germany, 2001

T. Nishikawa, Thermodynamics of microstructures, firs ed., ASM International, USA, 2008

M. Honjo y Y. Saito, "*Numerical Simulation of Phase Separation in Fe-Cr Binary and Fe-Cr-Mo Ternary Alloys with Use of the Cahn-Hilliard Equation"*, *ISIJ International*. Vol. 40, pp. 914-919, 2000.

Avila Dávila. E.O., D. V. Melo M. y V.M. López H. *"Microstructural simulation in spinodally-decomposed Cu-70 at. % Ni-4 at. % Fe Alloys"* Materials Characterization, Vol 60, pp. 560-567, 2009.

Lezama Alvarez S, "Numerical Analysis of Phase Decomposition in A-B Binary AlloysUsing Cahn-Hilliard Equations", *Materials Research*. 2013; 16(5): 975-981, 2013.

CAPÍTULO 4

EFECTO DEL INJERTO DE POLIFOSFATO DE AMONIO EN POLI(ÁCIDO LÁCTICO) SOBRE LA RETARDANCIA DE LLAMA Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Data de aceite: 02/08/2023

J.D. Zuluaga-Parraa
Centro de Investigación en Química Aplicada, Boulevard Enrique Reyna No. 140,25294 Saltillo, Coahuila, México.

L.F. Ramos-deValle
Centro de Investigación en Química Aplicada, Boulevard Enrique Reyna No. 140,25294 Saltillo, Coahuila, México.

S. Sánchez-Valdes
Centro de Investigación en Química Aplicada, Boulevard Enrique Reyna No. 140,25294 Saltillo, Coahuila, México.

J.G. Martínez- Colunga
Centro de Investigación en Química Aplicada, Boulevard Enrique Reyna No. 140,25294 Saltillo, Coahuila, México.

L. da Silva
Centro de Investigación en Química Aplicada, Boulevard Enrique Reyna No. 140,25294 Saltillo, Coahuila, México.

RESUMEN: El poli(ácido láctico) (PLA) se puede funcionalizar con anhídrido maleico (MA) para obtener PLA injertado con MA (PLA-g-MA), que a su vez, se puede funcionalizar con polifosfato de amonio (APP) para obtener PLA-g-APP. . Esta funcionalización debería facilitar la obtención de compuestos con propiedades retardantes de llama mediante intumescencia y además podría funcionar como compatibilizador para la adición de biorellenos. Para lograr esto, primero se funcionalizó el PLA con MA usando peróxido de dicumilo (DCP) como formador de radicales libres, en concentraciones variables de peróxido y anhídrido maleico. FTIR y NMR confirmaron la funcionalización. Además, se encontró que a una cierta concentración de DCP y MA, los valores de injerto alcanzados estaban cerca del 1% de MA en PLA. Posteriormente, se injertó APP en PLA-g-MA para obtener PLA-g-APP. Los análisis XPS mostraron la funcionalización efectiva de PLA con MA y posteriormente, el injerto de APP. Las imágenes SEM mostraron que el “nuevo” material (PLA-g-APP) no presenta una fractura frágil, como el PLA puro, sino una fractura resistente y que la adhesión interfacial entre PLA y APP mejora revelando su efecto de compatibilización. Esta compatibilización permitió una mejora en la resistencia a la tracción, la resistencia al impacto y un ligero aumento en el HDT del PLA. Finalmente, se observó que el uso de PLA-g-APP en una matriz de PLA puro tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas y en el comportamiento

retardante de llama alcanzando una reducción de pHRR y THR de hasta un 30% y 35% respectivamente. Además, se obtuvo la mejor retardancia de llama cuando se utilizó PLA-g-APP con 15% en peso de APP injertada. Este PLA funcionalizado (PLA-g-APP) es una nueva y buena opción para preparar compuestos bioignífugos con propiedades retardantes de llama mejoradas, en aplicaciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.
PALABRAS-CLAVE: Poli(ácido láctico); Polifosfato de amonio; Retardante de llama; Intumescencia; Funcionalización

1 I INTRODUCCIÓN

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero termoplástico derivado de fuentes renovables que recientemente ha ganado considerable importancia, debido a sus destacadas características, su biodegradabilidad, su reciclabilidad y su compostabilidad [1-3]. El PLA se puede producir a partir de fuentes renovables. Generalmente, se obtiene de la polimerización con apertura de anillo del monómero (lactida), que es un dímero cíclico producido a partir de la despolimerización del ácido láctico [4]. Este ácido láctico se obtiene de la fermentación de azúcares simples del maíz y la caña de azúcar, entre otros [5]. Esto lo convierte en un excelente sustituto de algunos polímeros a base de petróleo.

Las propiedades físicas del PLA dependen en gran medida de su peso molecular y estereoquímica. Sus propiedades mecánicas son comparables a las de algunos polímeros convencionales como el polietileno, el poli(tereftalato de etileno) y el poliestireno [6]. Entre las aplicaciones del PLA destaca su uso en el área de la medicina, como en liberación controlada de fármacos y en suturas degradables, aunque es ampliamente utilizado en otras industrias. Su uso varía entre películas para embalaje, envases de plástico, electrodomésticos, celulares, impresión 3D y en la industria textil [7,8]. Además, tiene el potencial de reemplazar algunos polímeros como PET, PS o PC, en embalajes, así como en aplicaciones electrónicas y automotrices [9]. Entre las principales desventajas del PLA destacan sus bajas propiedades térmicas y de resistencia al fuego. Como ocurre con muchos otros polímeros, esto supondría una limitación para su uso en la industria automotriz. Sin embargo, una de las formas más efectivas de mejorar la resistencia a las llamas es incorporar aditivos que impartan estas propiedades [10,11]. Uno de los aditivos más recientemente estudiados para mejorar las propiedades retardantes de llama son los aditivos organofosforados. Estos, aparte de ser muy buenos aditivos ignífugos, tienen una toxicidad muy baja y en algunas formulaciones se puede obtener un efecto sinérgico en presencia de nitrógeno. Uno de los compuestos más destacados es el polifosfato de amonio (APP), que en una matriz polimérica puede conferir retardo de llama [12]. La APP actúa como fuente de ácido, lo que favorece la formación de una capa intumescente aislante. Esta capa es ignífuga. En presencia de nitrógeno, este sistema puede formar un sistema retardante de llama intumescente, que ha demostrado ser un retardante de llama eficaz [13]. Varios artículos informaron el uso de APP como un retardante de llama intumescente

eficiente en compuestos de ácido poliláctico (PLA) de base biológica, obteniendo una mejora notoria en las propiedades retardantes de llama y antigoteo [14-16].

La principal limitación del uso de APP en algunos polímeros, incluido el PLA, es la baja compatibilidad con la matriz polimérica generando malas propiedades mecánicas. Una forma de evitar este problema de compatibilidad entre la APP y la matriz polimérica es injertar algún grupo funcional en la matriz polimérica, sobre el cual se pueda injertar la APP. De esta forma, este nuevo grupo funcional puede actuar como puente entre la matriz y la APP. En este sentido, una de las modificaciones más comunes para generar compatibilidad en polímeros es el injerto de anhídrido maleico (MA) [17]. Esta modificación se puede realizar en solución o en masa fundida. Cuando están fundidos, se pueden utilizar varios tipos de peróxidos, que son capaces de formar radicales libres. Estos radicales tienen la capacidad de formar un enlace entre el anhídrido maleico y la matriz polimérica. Entre los peróxidos más comunes para la formación de radicales libres se encuentra el peróxido de dicumilo, debido a su alta reactividad a cargas muy bajas [18]. Un sistema polimérico comercial con anhídrido maleico injertado suele tener un grado de injerto de ca. 1%. Pero hoy en día, el PLA injertado con MA comercial no es común. Una de las limitaciones para la incorporación de anhídrido maleico en PLA es la dificultad de alcanzar valores de injerto suficientemente altos, sin que el PLA se degrade por el uso de peróxidos. De esta forma, no sería posible disponer de suficiente anhídrido maleico para hacer compatible la APP, con la consecuencia de reducir drásticamente las propiedades mecánicas.

El presente trabajo estudia la inserción de anhídrido maleico en PLA, en estado fundido, buscando una relación peróxido/anhídrido maleico (DCP:MA) adecuada para obtener un alto grado de injerto, sin afectar significativamente el peso molecular del PLA. En este sentido, se prepararon diversas muestras de PLA-g-MA/APP en diferentes proporciones de DCP:MA con el fin de determinar la mejor relación entre DCP y MA, con el fin de producir la mayor concentración de APP injertada sin afectar significativamente las propiedades mecánicas. . El PLA-g-APP obtenido es una nueva y buena opción para preparar compuestos biorretardantes con propiedades retardantes de llama mejoradas, en aplicaciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

2 I EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

El ácido poliláctico usado fue 3052D de NatureWorks, EE. UU., el anhídrido maleico 99,0 % y el peróxido de dicumilo 98 % usados fueron de Sigma Aldrich, Alemania, y el polifosfato de amonio (APP) 99,0 % EPFR-APP222H de Preniphor, China.

2.2 Experimental

2.2.1 Preparation of maleic anhydride grafted PLA (PLA-g-MA)

La **Figura 1** presenta el esquema de reacción propuesto para la obtención de PLA-g-MA; el cual se preparó en la masa fundida utilizando un mezclador interno de laboratorio Brabender con cámara de mezclado de 70 cm3, con rotores tipo leva, operado a 60 rpm y 190°C, de la siguiente manera: Primero, muestras con 0.2, 0.6, 1.0 y 2.0 g de DCP, por 100 g de PLA. Esto se hizo considerando los mejores resultados obtenidos de la incorporación de MA al PLA **[19-20].** Como se indica en la **Tabla 1**, las muestras se prepararon y colocaron en pequeñas bolsas de plástico PLA y se mantuvieron a 4 °C durante 24 h (estas pequeñas bolsas de PLA se prepararon en nuestros laboratorios para este propósito). Segundo: también se prepararon muestras con 3, 7 y 10 g de MA, por 100 g de PLA, como se indica en la **Tabla 1**, y se colocaron en bolsitas de PLA. Para facilitar el procedimiento, el peso de las bolsitas de PLA se consideró cero. Tercero: se introdujo una cantidad determinada de PLA (esta cantidad dependía de la cantidad de DCP y MA que se iban a agregar. La cantidad de los tres, DCP, MA y PLA, debería ser aproximadamente 70 g) en un Brabender. mezclador interno a 190 °C y procesado durante aprox. 2 min, hasta que se fundió, momento en el cual se añadió una de las bolsas con DCP y se continuó el procesamiento hasta completar 5 min. Inmediatamente después, se llevó a cabo el injerto de MA en PLA agregando en la cámara de mezcla las bolsitas de PLA con 3, 7 o 10 g de MA por 100 g de PLA, y la mezcla se continuó durante otros 5 minutos. Las muestras obtenidas se secaron antes de la caracterización. Las formulaciones de DCP - MA preparadas están marcadas con una X en la **Tabla 1** a continuación. El PLA-g-MA se recuperó del mezclador interno y posteriormente se molió en un molino de cuchillas Brabender TYP 51079. Las muestras se colocaron en una estufa de vacío a 60°C durante 15 horas para eliminar todo el anhídrido maleico sin reaccionar. En todos los casos de mezcla, el factor de llenado de la cámara de mezcla (vol. de mezcla/vol. de cámara) se mantuvo en aprox. 95%.

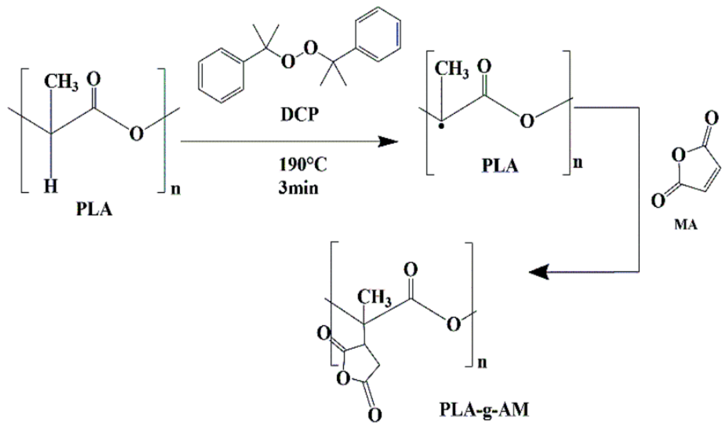


Figura 1. Esquema de reacción de PLA y MA a PLA-g-MA.

DCP; [g DCP/100g PLA]	**Anhídrido maleico; [g MA/100g PLA]**		
	3	**7**	**10**
0.2	X		
0.6		X	X
1.0		X	X
2.0			X

Tabla 1. Formulaciones utilizadas para producir PLA-g-MA

2.2.2 Preparación de mezclas de PLA-g-APP y PLA/PLA-g-APP y mezclas de PLA/APP.

El PLA injertado con APP (PLA-g-APP) se preparó a partir del preparado previamente PLA-g-MA, utilizando el mismo mezclador interno, a una temperatura de 190°C, trabajando a 60 rpm, durante 6 min. La proporción de reactivos utilizados en el mezclador interno fue 50% en peso de PLA-g-MA y 50% en peso de APP. Luego, el PLA-g-APP obtenido se diluyó en PLA puro para tener 3 muestras diferentes de PLA/PLA-g-APP (con 15, 12,5 y 10% en peso de APP en el PLA injertado). Estos porcentajes se calcularon mediante XPS. A modo de comparación, se prepararon mezclas de PLA/APP, con 15, 12,5 y 10 % en peso de APP cada una. Esta mezcla se realizó en el mismo mezclador interno, a 190°C, trabajando a 60 rpm durante 6 min. Después de la reacción es posible que quede APP que no reaccionó, por lo tanto las muestras de PLA/PLA-g-APP posiblemente sean realmente una mezcla tanto de PLA/APP como de PLA/PLA-g-APP. La descripción final de las muestras preparadas se puede ver en la **Tabla 2**.

Muestra	PLA (% wt.)	APP	PLA-g-APP
PLA	100		
P1 (10%)	90	10	
P1 (12.5%)	87.5	12.5	
P1 (15%)	85	15	
P2 (10%)	80		20
P2 (12.5%)	75		25
P2 (12.5%)	70		30

Tabla 2. Descripción de las muestras.

2.3 Caracterización

2.3.1 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier de Reflectancia Total Atenuada (ATR-FTIR): Realizada en un Bruker VERTEX 70V equipado con un accesorio de reflexión simple ATR de diamante.

2.3.2 Determinación del anhídrido maleico incorporado: La cantidad de anhídrido maleico incorporado se determinó mediante valoración. Se disolvió un gramo de las muestras en 150 ml de cloroformo y 1,5 ml de ácido clorhídrico 0,1 M con agitación a 40°C. Posteriormente, las muestras fueron precipitadas con metanol y separadas por filtración. Las muestras se secaron a 60°C al vacío. A continuación, se disolvieron 0,5 g de cada muestra seca en tetrahidrofurano y se tituló en un valorante (titrino plus 848, metrohm. Suiza) con una solución de NaOH 0,005 N hasta que se alcanzó un pH neutro. De esta titulación se obtuvo el valor de mL de solución necesarios para alcanzar el equilibrio. El porcentaje de incorporación se calculó mediante las siguientes ecuaciones:

$$Numero\ de\ acido = \frac{\mathrm{m}L_{NaOH} * N_{NaOH} * \mathrm{Mw}_{NaOH}}{g_{PLAgMA}}$$

$$\%PLAgMA = \frac{\text{numero de acido} * \mathrm{Mw}_{MA}}{Funcionalización\ de\ MA * \mathrm{Mw}_{NaOH} * 100}$$

2.3.3 Resonancia magnética nuclear (RMN) ^{1}H, ^{13}C y ^{31}P: Se obtuvieron espectros de RMN monodimensional (COSY, HSQC, HMBC) de ^{1}H (400 MHz), ^{13}C-DEPTQ-135 (100,5 MHz), ^{31}P (162 MHz) y bidimensional a temperatura ambiente con un espectrómetro Bruker Avance III HD 400N de 400 MHz (con una sonda de desacoplamiento BBI multinuclear de 5 mm con grado Z). Los cambios químicos (ppm) fueron relativos a la señal restante de cloroformo no deuterado (de $CDCl_3$) y se usaron como referencia interna para ^{1}H y la señal de cloroformo deuterado como referencia para la espectroscopia de ^{13}C-NMR. El desplazamiento químico para los espectros de ^{31}P se determinó tomando el desplazamiento químico de H_3PO_4 como referencia externa.

2.3.4 Espectroscopia fotoelectrónica de rayos X: Los espectros XPS se realizaron en un espectrómetro electrónico Kratos Axis Ultra DLD con una fuente de rayos

X monocromática Al(Kα) que funciona a 150 W con una energía de paso del analizador de 160 eV para adquirir espectros completos y una energía de trayectoria de 20 eV para líneas individuales de alta resolución. El análisis se realizó en los picos de fotoemisión de los núcleos de P 2p; Las muestras se depositaron manualmente con una espátula en un portamuestras especial para polvo. El potencial de la superficie fue estabilizado por el sistema de neutralización de carga del espectrómetro. La escala de energía de enlace (BE) está referenciada a la línea C 1s del carbono alifático, establecida en 285,0 eV. Los espectros se analizaron con el software Origin Pro 9.

2.3.5 Propiedades mecánicas: La resistencia a la tracción se determinó en una máquina universal MTS Criterion Modelo 43 (5 kN) a una velocidad de 1 mm/min. Se analizaron al menos 5 probetas utilizando probetas tipo V con un espesor de 2 mm, preparadas bajo la norma ASTM D638. Las pruebas de impacto Izod se evaluaron siguiendo el método ASTM D256.

2.3.6 Calorímetro de cono (CCT): Las muestras de 100 x 100 x 2 mm se examinaron en una tecnología de prueba de fuego con calorímetro de cono con los siguientes parámetros: flujo de calor de 35 kJ/(s·m2), separación de la muestra de 25 mm y con caudal nominal de 24 L/s, el factor de corrección de 0,043411, según ASTM E1354.

2.3.7 Microscopía electrónica de barrido (MEB): Las muestras a analizar se tomaron de laminados de 2 mm de espesor, de los cuales se fracturaron muestras de 2x1x0,2 cm a temperatura criogénica. La parte analizada fue la superficie fracturada. Los análisis se realizaron con un microscopio electrónico de barrido JEOL SM-6000 irradiado con electrones secundarios de 15 kV, alto vacío, con un aumento de 150X. Los análisis se realizaron únicamente en muestras que contenían 15% de APP.

2.3.8 Análisis termogravimétrico acoplado con infrarrojo (TG-IR): Se utilizó un Perkin Elmer TGA 4000 acoplado a un espectrómetro Perkin Elmer Frontier FTIR. En el TGA, la degradación del material se realizó aumentando la temperatura de 50 °C a 600 °C a una velocidad de 10 °C/min bajo una atmósfera de nitrógeno. Posteriormente al alcanzar una temperatura de 600 °C se realizó un cambio de gases a oxígeno y se continuó el aumento de temperatura hasta llegar a 900 °C a la misma velocidad de calentamiento. Al mismo tiempo, el equipo FTIR realizaba un escaneo cada 0,5 min para lograr el mapeo de degradación.

3 I RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Figura 2** presenta los espectros ATR-FTIR de PLA puro y PLA-g-MA (la muestra con 0,96 MA injertado, de la **Tabla 3**). Aunque este espectro representa todos los espectros de PLA maleado, tanto el espectro de PLA como el de PLA maleado muestran los picos característicos de PLA. El pico en 1760 cm^{-1} se atribuye al estiramiento del grupo carbonilo C=O, el pico en 1450 cm^{-1} se atribuye a la deformación del enlace C-H, mientras que los

picos en 1380 cm^{-1} y 1360 cm^{-1} Corresponde al enlace C-O-H. Cabe señalar que los picos en el rango de 1200-1040 cm^{-1} y 955-867 cm^{-1} se atribuyen al estiramiento de los enlaces -C-O- y -C-C-, respectivamente [21]. La principal diferencia entre los dos espectros se encuentra en la región entre 1840 y 1860 cm^{-1} así como en 830 y 900 cm^{-1}, donde los picos en 1850 y 700 cm^{-1} se atribuyeron al estiramiento del carbonilo del anhídrido maleico y flexión del grupo CH del anhídrido maleico del anillo aromático en el anhídrido ya injertado en PLA [22].

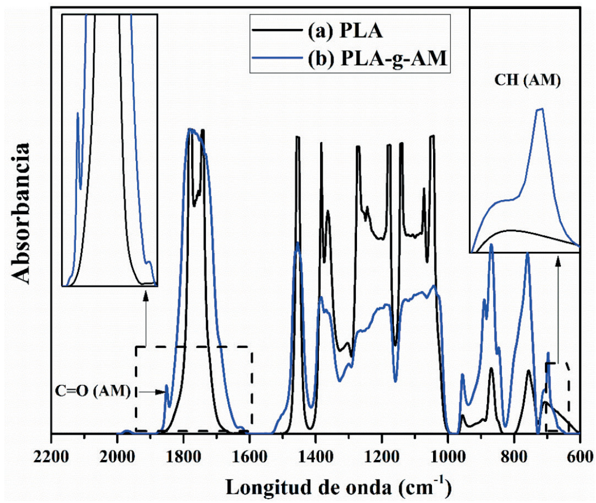


Figura 2. Espectros ATR-FTIR de (a) PLA puro y (b) PLA-g-MA.

La **Figura 3** presenta la estructura y el espectro ^{1}H del PLA puro. Se pueden observar dos señales con picos en un desplazamiento químico δ de 1,6 ppm y 5,2 ppm. El primero corresponde a los protones metilo mientras que el segundo a los protones metino. La señal cercana a δ 7,3 ppm corresponde al cloroformo deuterado, $CDCl_3$.

La **Figura 4** presenta los resultados de 1H de PLA-g-MA del sistema 1DCP-10MA. Aunque representa a los otros sistemas, que presentan las mismas señales características, las señales características del PLA se pueden observar en el desplazamiento químico δ a 1,6 ppm y 5,2 ppm. Aunque se puede observar una nueva señal con un desplazamiento químico δ a 4,2 y 4,38 ppm, este último corresponde a los grupos metileno CH_2 del anillo succínico del anhídrido maleico [23]. Además, se detectó una nueva señal cercana a 3,8 ppm que corresponde al grupo metilo cercano al anillo de anhídrido succínico [24]. Por otro lado, comparando los ratios de integración del grupo CH del PLA con la señal de funcionalidad del MA, se estima un porcentaje de injerto del 1,2%.

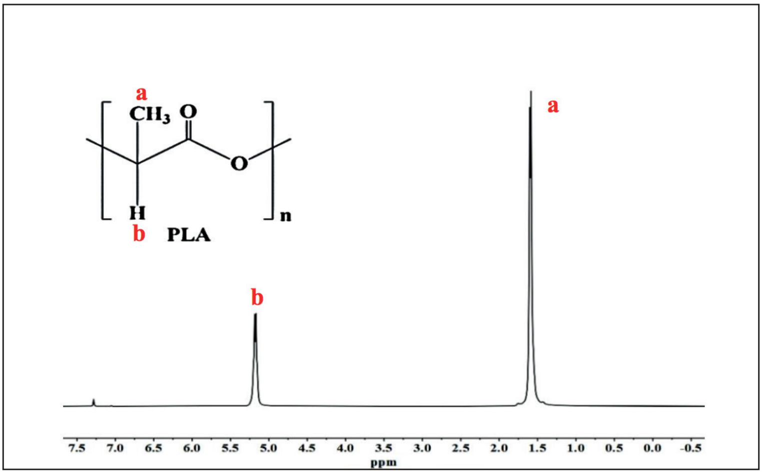


Figura 3. Espectros de ^{1}H RMN (400 MHz, CDCl3) de PLA.

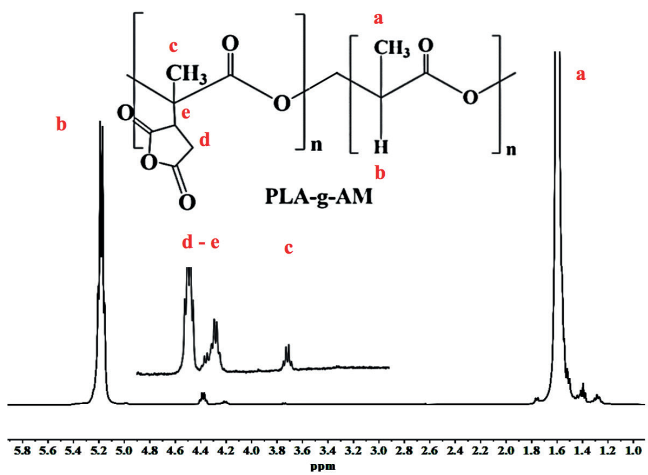


Figura 4. Espectros de RMN ^{1}H (400 MHz, CDCl3) de PLA-g-MA. * Por HSQC editado estas señales son grupos de CH_2 que podrían asignarse a un compuesto orgánico derivado del acoplamiento entre iniciador y MA.

La correlación de los espectros C-H HSQC y HMBC se presenta en la **Figura 5**. Este análisis solo se realizó en la muestra 1DCP-10MA (de la Fig. 3), pero la correlación se puede extrapolar a los otros sistemas. Los espectros de correlación HSQC y HMBC muestran la presencia del grupo derivado del anhídrido maleico en las cadenas de PLA. Es decir, el PLA está funcionalizado con MA. En ^{13}C y HSQC se identifican los grupos CH (a 66,8 ppm) y el CH_2 (a 63,2) del anillo succínico del anhídrido. También se observan dos grupos carbonilo como se muestra en la estructura presentada en el HSQC [25]. En los espectros HMBC se pudo encontrar una correlación de las señales con el desplazamiento en 167,8

y 175,1 ppm de los carbonos vecinales con la señal cercana a 4,38 ppm procedente de la funcionalización. Cabe mencionar que no se observó anhídrido maleico libre, el cual presenta desplazamientos químicos del ^{13}C reportados en la literatura, en 164,6 ppm (carbonilo) y en 136,7 ppm (doble enlace de carbono). Los resultados del MA injertado, determinados mediante titulación, se presentan en la **Tabla 3**. En base a estos resultados, se puede decir que la reacción de injerto depende en gran medida de la cantidad de peróxido inicial. Esto se debe a que se requiere la creación de radicales libres para que el injerto sea posible. Por tanto, la muestra con una concentración inicial de DCP baja (0,2 g DCP/100 g PLA) tiene un bajo grado de injerto, cercano al 0,11%; pero al aumentar la concentración de DCP a 0,6 g/100gPLA, se puede observar un aumento en el MA injertado, hasta 0,36 y 0,38. En las formulaciones con 1 g de DCP/100 g de PLA, el grado de injerto aumentó a 0,64 y 0,96 % para las muestras con 7 y 10 g de MA. Sin embargo, la formulación con 2 g de DCP/100 g de PLA) presentó un menor grado de injerto que se atribuyó a que esta mayor concentración de DCP, en cambio, promueve una serie de reacciones secundarias, como la reticulación entre PLA o la generación de ramificaciones.

Los espectros XPS de PLA puro, PLA/APP y PLA-g-APP se muestran en la **Figura 6**. Se puede observar que el PLA, como se esperaba, está compuesto principalmente de carbono y oxígeno, pero al comparar estos espectros con los de los compuestos , tanto PLA/APP como PLA/PLA-g-APP, se puede observar que están compuestos por carbono y oxígeno, provenientes del PLA, pero además, en su composición también se incluyen fósforo y nitrógeno, provenientes del APP [26].

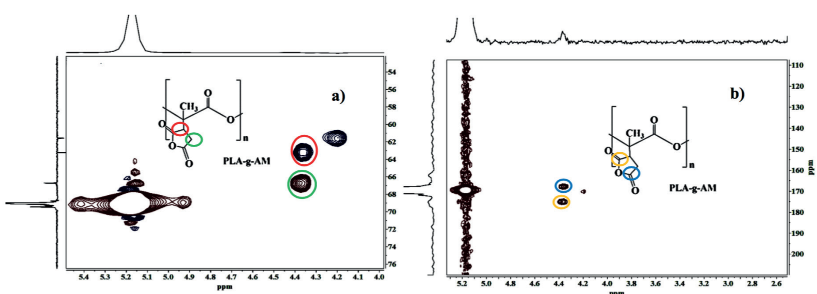


Figura 5. Espectros de RMN de correlación C-H (400 MHz) (a) HSQC y (b) HMBC de PLA-g-MA.

Muestra	MA Injertado [% relativo PLA]
0.2DCP – 3MA	0.11
0.6DCP – 7MA	0.36
1.0DCP – 7MA	0.64
0.6DCP – 10MA	0.38
1.0DCP – 10MA	0.96
2.0DCP – 10MA	0.43

Tabla 3. Cantidades de MA injertado en PLA, según lo determinado por titulación.

Los espectros XPS de alta resolución del fósforo P 2p y su deconvolución de las muestras PLA/APP y PLA/PLA-g-APP se pueden ver en la **Figura 7**. Se puede ver que la muestra PLA/APP (la mezcla) muestra dos picos, a 134,8 y 134 eV, que se atribuyen a los enlaces P=O y POP respectivamente, que son las señales características de APP [27], pero no hay indicación de un enlace químico entre el fósforo presente y el polímero. Sin embargo, si comparamos estas señales con las de PLA/PLA-g-APP, se pueden observar los mismos picos que corresponden a P=O y POP, característicos de APP, pero adicionalmente se observa un nuevo pico a 133 eV. , que es característico de los enlaces POC [28]. Esto indica que realmente existe un vínculo entre el polímero injertado con anhídrido maleico y la APP. Por tanto, la reacción llevada a cabo en el mezclador interno, indica que la estructura propuesta es la estructura obtenida.

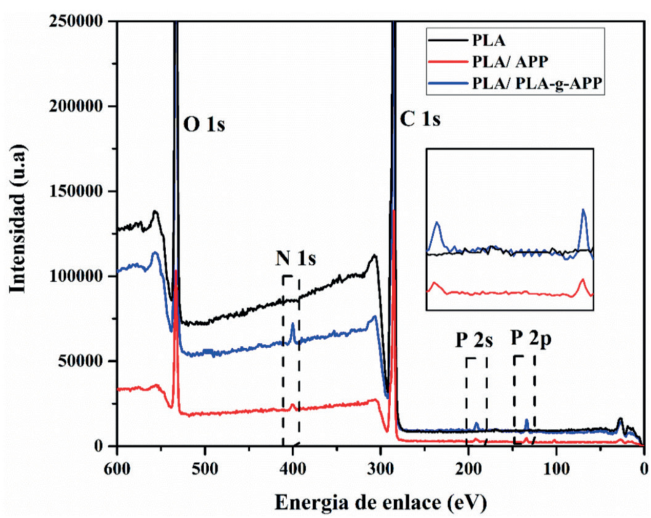


Figura 6. Espectros XPS de muestras de PLA, PLA/APP y PLA-g-APP.

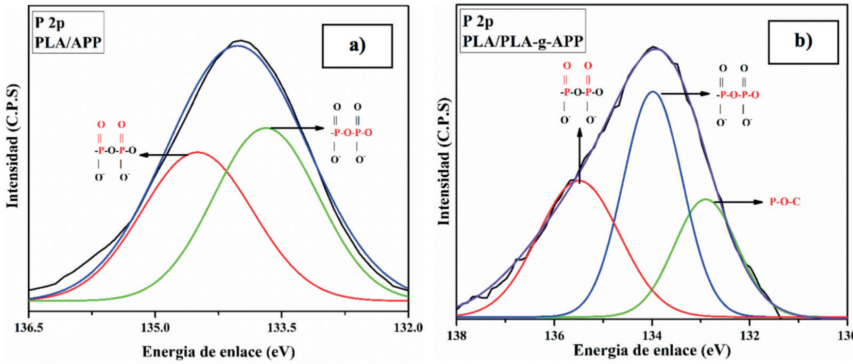


Figura 7. Espectros XPS de alta resolución de P-2p de (a) PLA/APP y (b) PLA/PLA-g-APP.

Figura 8. Presenta las micrografías SEM de la fractura criogénica de las muestras con PLA/APP y de aquellas con PLA-g-APP (muestra con el APP mezclado -vs- muestra con el APP injertado). Se puede observar que los compuestos PLA/APP presentan una fractura frágil en su superficie, además esta fractura se propaga aleatoriamente. Al no estar unida químicamente, la APP presenta una mala adhesión con la matriz polimérica, de igual manera se pueden observar algunos huecos y relieves, donde posiblemente la APP se desprendió de la matriz, indicando que la APP posiblemente no se encuentre incrustada en la matriz. matriz. Al observar la superficie de fractura criogénica de los composites elaborados con PLA-g-APP, se puede observar que la fractura ya no se propaga aleatoriamente, por el contrario, la sección transversal muestra la propagación de la fractura, esto es un indicativo de una mejora. en la compatibilidad entre PLA y APP, debido a que está unido químicamente al PLA, por lo tanto, se comportan como un material homogéneo [29].

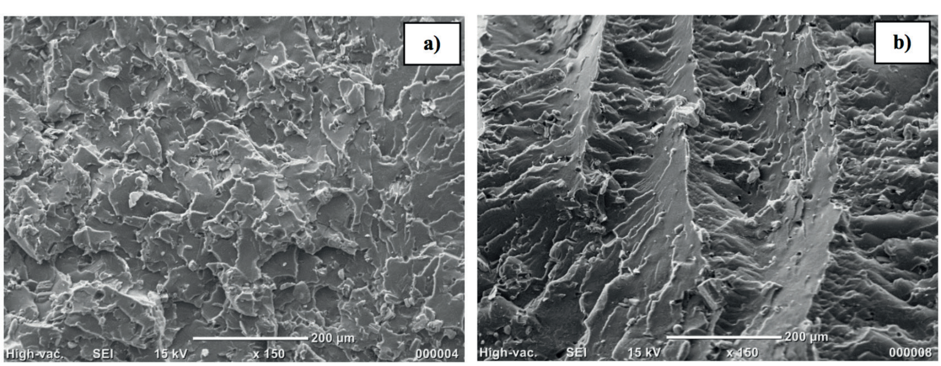


Figura 8. Micrografías SEM de la fractura criogénica de la muestra PLA/APP y de la muestra PLA-g-APP (la APP mezclada frente a la APP injertada).

Un resumen de los resultados de los ensayos de tracción PLA/APP y PLA-g-APP

se puede ver en **Table 4.** El PLA puro tiene una resistencia a la tracción de 60 MPa y un alargamiento a la rotura cercano al 3%; similares a los reportados por el proveedor (62 MPa y 3,5%). Cuando se incorpora APP al PLA, los compuestos de PLA sufren una disminución en su resistencia a la tracción, debido a la baja adhesión interfacial entre PLA y APP atribuida principalmente a la diferencia de polaridades entre sí. Esta disminución fue de 60 MPa a 37 ± 1 MPa para los compuestos mezclados y de 60 MPa a 47 ± 2 MPa para los compuestos injertados. El alargamiento de rotura se mantiene aproximadamente en el mismo rango, de 2,9 ± 1,4 a 2,5 ± 1% [30]. Por otro lado, al comparar la resistencia a la tracción de PLA/APP y PLA/PLA-g-APP, se puede observar una mejora en la resistencia a la tracción en los compuestos que contienen el APP injertado, desde ca. 37±1 a 47±1 MPa. Este efecto positivo sobre la resistencia a la tracción de los composites posiblemente se deba a la mejora en la adhesión y dispersión del APP. El módulo en general sigue siendo muy similar entre los dos sistemas.

Muestra	Esfuerzo de tracción en rotura [MPa]	Elongación de rotura [%]	Módulo de tracción [MPa]
PLA	60 ± 0.8	2.9 ± 14	36 ± 2.1
P1 (10%)*	38 ± 1.1	2.6 ± 1.1	41 ± 2.2
P1 (12.5%)	37 ± 0.3	2.5 ± 1.3	42 ± 2.0
P1 (15%)	36 ± 0.2	2.3 ± 1.1	43 ± 2.5
P2 (10%)	49 ± 1.1	2.5 ± 1.1	42 ±3.1
P2 (12.5%)	47 ± 1.3	2.4 ± 1.3	42 ±2.3
P2 (15%)	45 ± 1.1	2.1 ± 1.1	44 ±2.7

* Entre paréntesis, % en peso de APP en los compuestos P1 y P2.

Tabla 4. Resumen de las propiedades de tracción del PLA, (P1) PLA/APP y (P2) PLA/PLA-g-APP

Es bien sabido que la APP disminuye las propiedades mecánicas de una matriz polimérica como PLA, PP, mezcla de PC/ABS, PE, etc. [Ref B], lo que se atribuye a diferencias de polaridad que crean una baja adhesión interfacial. Además, la APP es un excelente aditivo retardante de llama y puede actuar como refuerzo en algunos polímeros reduciendo la ductilidad y aumentando el módulo. Sin embargo, la baja adherencia disminuye la resistencia a la tracción porque la presencia de APP crea puntos de fractura. En nuestro caso, el PLA-g-AM por otro lado, es un intermediario entre PLA y APP creando un enlace covalente entre ellos por lo que el PLA y el APP mostraron una mejor adhesión interfacial y crean una mejor distribución de fuerza cuando el material está bajo resistencia a la tracción.

Los resultados de las pruebas de impacto del PLA, PLA/APP o PLA-g-APP, se pueden encontrar en la **Tabla 4**. El PLA tiene una resistencia al impacto de 27 (J/m), cuando

se le incorpora APP se puede observar que el impacto la resistencia aumenta, a diferencia de otros estudios entre PLA/APP y otras resinas y APP [30-31]. De la misma manera, la resistencia al impacto depende de la concentración de APP, las concentraciones de 10% y 12.5% de APP no variaron mucho entre ellas, mientras que a una concentración de 15% las muestras compatibilizadas presentaron una mejora notoria. A primera vista, parecería que el PLA-g-APP no tiene un efecto directo sobre la resistencia al impacto, pero si analizamos estos resultados junto con las propiedades a tracción, los sistemas PLA-g-APP que tienen un menor alargamiento a la rotura, que tiene una relación directa. Por lo general, un menor alargamiento a la rotura muestra una menor resistencia al impacto [31]. Podemos encontrar que los sistemas PLA-g-APP refuerzan el APP pero no pierden sus propiedades de impacto, e incluso en uno de los sistemas hubo una mejora significativa en esta propiedad.

La **Figura 9** muestra las imágenes SEM de las fracturas por impacto de los sistemas PLA/APP y PLA/PLA-g-APP con una concentración del 15% de APP. Se puede ver en la muestra PLA/APP (**Figura 9**-a) que la mayoría de las partículas de APP en la matriz de PLA están expuestas a la superficie externa, además de la falta de buena adhesión interfacial; esto se debe a la baja compatibilidad con la matriz polimérica PLA. Esto puede deberse a la alta polaridad de la APP [32]. Mientras tanto, los sistemas PLA-g-APP (**Figura 9**-b) no presentan estas 2 fases ni presentan las partículas de APP en la superficie. Se puede observar de la misma manera que la APP se encuentra embebida en la matriz polimérica; esto es una indicación de que la APP es compatible y tiene una alta adhesión interfacial con PLA.

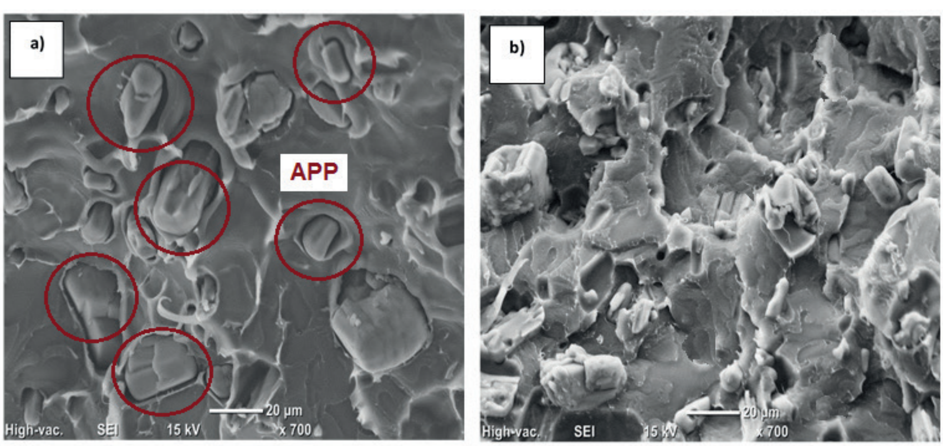


Figura 9. Imágenes SEM de la fractura por impacto de PLA/APP (15%) (a) PLA/PLA-g-APP (b).

Los resultados de la temperatura de deflexión por calor (HDT) de PLA, PLA/APP o PLA-g-APP se pueden ver en la **Tabla 5**. La HDT de PLA está cerca de 51 °C, cuando se agrega APP, se observó un ligero aumento en HDT. Este aumento fue de menos de 1 °C

para PLA/APP y de menos de 2 °C para PLA-g-MA. En las muestras sin compatibilizador, este ligero aumento se debió al aumento del módulo [REF I], sin embargo, para lograr una mejora en esta propiedad se requieren cargas mayores (superiores al 30%), lo que explica el poco efecto observado. Por otro lado, los sistemas PLA-g-APP tuvieron un incremento ligeramente mayor en HDT especialmente en los sistemas con un 15%. Durante la preparación de PLA-g-AM y posteriormente PLA-g-APP, los materiales pueden reaccionar con DCP para formar radicales libres, por lo que el peso molecular de estas muestras puede reducirse, lo que explica el ligero aumento observado en HDT. La ligera variación observada en esta propiedad sugiere que no hubo una gran variación en el peso molecular de las muestras. Los resultados de la calorimetría de cono de los compuestos PLA/APP se pueden ver en la **Tabla 6** y **Figura 10**. Aquí, se observa que todos los compuestos presentan un pHRR más bajo que el PLA puro (613 vs 500±70 kJ/(s•m2)); siendo los más bajos aquellos con 12,5 y 15% en peso de APP, ya sea mezclados o injertados. Se supone que esto es el resultado de la formación de una capa intumescente, debido precisamente a la presencia de APP, que disminuye e impide la continuación del fuego [33]. Además, se observa que todas las muestras presentan una THR similar a la del PLA puro (42±2 MJ/m2), a excepción de aquellas con 12,5% y 15% de APP injertada, que presentan una THR un 25% menor, alrededor de 31±1MJ/m2. Esto confirma que la funcionalización del polímero (con MA y posteriormente con APP) mejora la retardancia de llama. Finalmente, todas las muestras, incluido el PLA puro, se incendian después de 45-50 s. del inicio de la prueba, y todas las muestras, excepto el PLA puro (que mostró 140 s), presentan un tiempo total de fuego ca. 160±15 s [34].

Muestra	**Resistencia al impacto (J/m)**	**HDT (°C)**
PLA	27 ± 1	50.1 ± 0.3
P1 (10%)	35 ± 2	50.4 ± 0.4
P1 (12.5%)	33 ± 1	50.5 ± 0.6
P1 (15%)	32 ± 1	50.9 ± 0.3
P2 (10%)	36 ± 2	51.5 ± 0.1
P2 (12.5%)	34 ± 1	51.6 ± 0.3
P2 (15%)	37 ± 1	52.0 ± 0.4

Tabla 5. Resistencia al impacto y HDT de muestras de PLA, (P1) PLA/APP y (P2) PLA/PLA-g-APP.

Las imágenes de los restos carbonosos tras realizar las pruebas del calorímetro de cono se presentan en la **Figura 11**. Se puede observar que, tras su combustión, el PLA no deja ninguna capa carbonosa aparente. Por otro lado, al analizar la capa carbonosa del sistema PLA/APP, se forma una capa carbonosa más grande en un área más grande de la canasta de aluminio. Esto se debió a la presencia de un material intumescente

que proporcionaba resistencia a las llamas. De la misma manera se observó que la capa carbonosa presenta espumación, lo que es un indicio de que se está presentando intumescencia. En las muestras con APP injertado, al igual que en las muestras con APP mezclada, se obtuvo una capa carbonosa hinchada, indicando intumescencia, que con el tiempo favorece la retardación de llama. Sin embargo, se puede observar una mayor capa carbonosa y mayor espumación en las muestras con el APP injertado lo que se atribuyó a la mejora en la distribución del APP en el composite PLA.

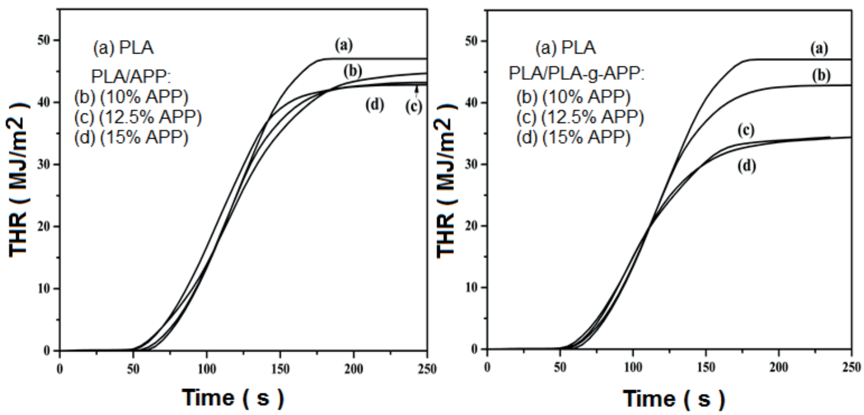


Figura 10. Curvas de liberación de calor total vs tiempo de: PLA, PLA/APP y PLA/PLA-g-APP.

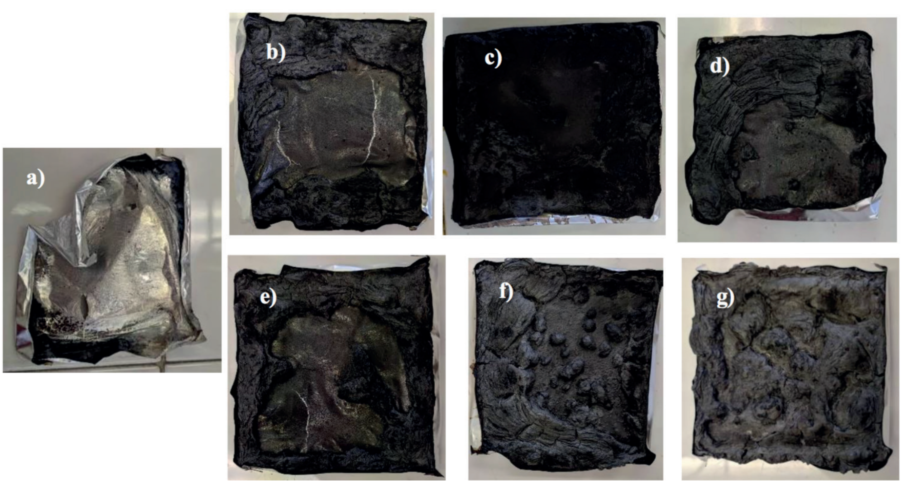


Figura 11. Residuos de las diferentes muestras compuestas después de las pruebas del calorímetro de cono; (a) PLA, PLA/APP, con (b) 10, (c) 12,5 y (d) 15% en peso de APP; PLA/PLA-g-APP, con (e) 10 %, (f), 12,5 % y (g) 15 % en peso de APP.

Muestra*	pHRR [kJ/(s.m²)]	Reducción [%]	THR [MJ/m²]	ti [s]	tf [s]	ttf [s]
PLA	613	-	46	49	189	140
P1 (10%)	576	6	42	50	203	153
P1 (12.5%)	471	23.1	42	50	203	153
P1 (15%)	470	23.3	41	50	221	173
P2 (10%)	548	10.6	42	45	220	175
P2 (12.5%)	477	22.1	32	49	200	151
P2 (15%)	428	30.1	30	45	219	172

*Entre paréntesis, la cantidad de APP en los compuestos P1 y P2. (P1) PLA/APP, y (P2) PLA/PLA-g-APP; pHRR = pico de la tasa de liberación de calor; % Reducción = pHRR de PLA - pHRR de compuestos; THR = calor total liberado; ti y tf = tiempo inicial y final del incendio; ttf = tiempo total de incendio.

Tabla 6. Resumen de los resultados del calorímetro de cono.

Figura 12. (a), (b) y (c) presentan los espectros TGA-IR 3d de PLA, PLA/APP (mezclados) y PLA/PLA-g-APP (injertados), respectivamente. Se puede observar que todas las muestras presentan un comportamiento similar, donde las intensidades presentan pequeñas variaciones. Las muestras presentan su descomposición en dos etapas, la primera, alrededor de 360 ± 30 °C, que corresponde a la descomposición de cadenas poliméricas en fracciones volátiles más pequeñas, que pueden oxidarse para liberar CO y CO2, la segunda, alrededor de 465 ± 25 ° C, que corresponde a la pirólisis del residuo carbonoso [35,36]. Las muestras PLA/APP y PLA/PLA-g-APP (al igual que el PLA puro), presentan 2 etapas de descomposición, con un ligero desplazamiento entre ellas de 10°C, pero permaneciendo en los mismos rangos de temperatura, 375 ± 25 y 475 ± 25 °C, debido a la presencia de grupos fosfato, que al descomponerse liberan moléculas de ácido, que a su vez aceleran la deshidratación de las cadenas poliméricas, promoviendo la formación del residuo carbonoso. Por otro lado, los espectros infrarrojos a la temperatura máxima de cada una de las 3 muestras, cercana a los 375 °C, se pueden observar en la Fig. 10. (d). Se puede observar que las 3 muestras presentan espectros similares; donde las señales de hidrocarburos volatilizados aparecen en una longitud de onda de 2950 cm^{-1}, las señales cercanas a 2180 y 2120 cm^{-1}, corresponden a CO y CO2, respectivamente, mientras que la señal a 1765 cm^{-1} corresponde a grupos carbonilo que resultan de la oxidación de grupos OH: Además, existen diversas señales entre 1000 - 1500 cm^{-1} que complementan las señales anteriores [37].

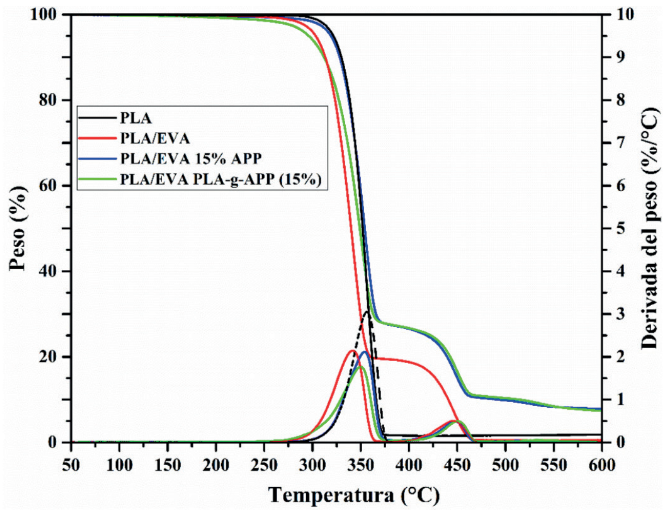


Figura 12. Espectros TGA-IR de (I) PLA, (II) PLA/APP, (III) PLA/PLA-g-APP, al 15% en peso de APP; y el espectro de (I, II y III) tomado a la temperatura máxima.

Finalmente cabe destacar el efecto positivo que tiene la incorporación de APP en el PLA, lo que se puede evidenciar en las intensidades de los picos de absorbancia en cada sistema. La intensidad de las señales en el sistema que tenía el APP mezclado (PLA/APP) se redujo en un 33%, mientras que la del APP injertado (PLA-g-APP), presentó una reducción del 50%. Esto es muy relevante para las características del retardante de llama, ya que al reducir los compuestos combustibles, el posible material combustible restante disminuye, lo que tiene un efecto positivo en las pruebas de retardo de llama. Como resultado, los sistemas injertados de APP tienen un rendimiento térmico superior al de los compuestos de APP mezclados. Las señales negativas cercanas a 700 cm^{-1} y entre 2200 y 2400 cm^{-1}, corresponden a señales de humedad y CO_2, presentes en la cámara IR.

CONCLUSIONES

El PLA injertado con anhídrido maleico se preparó con éxito, como se pudo observar en los resultados de FTIR y RMN. Además, se encontró una proporción adecuada de peróxido a anhídrido maleico, para producir la mayor cantidad de injerto; esta relación fue 1:10% en peso. A estas concentraciones, se obtuvo un valor de injerto cercano al 1% en peso. Este valor es similar a los reportados en diferentes polímeros maleados comerciales. Posteriormente, se diseñó un método eficaz para la preparación de PLA-g-APP, como se verificó mediante XPS y SEM. Se prepararon compuestos de PLA y APP, donde se evaluó el efecto del uso de PLA injertado con anhídrido maleico y se demostró que produce mejores propiedades finales. Del mismo modo, se observó que el uso de PLA-g-MA mejora las

propiedades mecánicas y retardantes de llama finales en ca. 20% y 10% respectivamente. Esto se pudo observar con los resultados de las pruebas de tracción y calorímetro de cono. Además, se determinó que la APP confiere intumescencia al PLA, como se observa en la capa carbonosa residual y, se determinó que una concentración cercana al 15% de APP produjo los mejores resultados. El método de injerto para producir PLA-g-APP a partir de un polímero maleado abre la puerta a la síntesis de compuestos retardantes de llama formulados con APP y aditivos intumescentes.

ACKNOWLEDGEMENTS

Un autor, J.D. Zuluaga agradece al CONACYT por otorgarle su beca para realizar su doctorado. Estudios en CIQA. Asimismo, los autores agradecen el apoyo financiero del Conacyt a través del Proyecto Conacyt-317097 y Fordecyt-292399. Los autores desean agradecer al Laboratorio Nacional de Grafeno (Conacyt-232753), LANIAUTO (Conacyt-294030) y Conacyt-31735 por el apoyo de las instalaciones.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún interés financiero en competencia.

Declaración de intereses en competencia. Los autores declaran que no tienen intereses financieros en conflicto ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Financiamiento: CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México) otorgó una beca para realizar el Doctorado. estudios de J.D. Zuluaga-Parra.

Declaración de compatibilidad de datos: los datos complementarios y el material relacionado con este manuscrito estarán disponibles bajo petición.

REFERENCES

1. Ilyas R A, Sapuan S M, Harussani M M, Hakimi M Y A Y, Haziq M Z M, Atikah M S N, Asyraf M R M, Ishak M R, Razman M R, Nurazzi N M, Norrrahim M N F, Abral H, Asrofi M (2021) Polylactic Acid (PLA) Biocomposite: Processing, Additive Manufacturing and Advanced Applications, Polymers 13:1326. https://doi.org/10.3390/polym13081326

2. McKeown P, Jones M D (2020) The Chemical Recycling of PLA: A Review. Sus Chem 1:1. https://doi.org/10.3390/suschem1010001

3. Dong X, Wu Z, Wang Y, Li T, Yuan H, Zhang X, Ma P, Chen M, Huang J, Dong W (2022) Improving the toughness and flame retardancy of poly (lactic acid) with phosphorus-containing core-shell particles. J Appl Polym Sci 139:e52390.

4. Li G, Zhao M, Xu F, Yang B, Li X, Meng X, Teng L, Sun F, Li Y (2020) Synthesis and Biological Application of Polylactic Acid. Molecules 25:5023. doi:10.3390/molecules25215023

5. Yankov D (2022) Fermentative Lactic Acid Production From Lignocellulosic Feedstocks: From Source to Purified Product. Front Chem 10:823005 doi.org/10.3389/fchem.2022.823005

6. Hughes J, Thomas R, Byun Y, Whiteside S, (2012) Improved flexibility of thermally stable poly-lactic acid (PLA), Carbohydr Polym 88:165. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.11.078.

7. Schmidmaier G, Wildemann B, Stemberger A, Haas N P, Raschke M, (2001) Biodegradable poly(D,L-lactide) coating of implants for continuous release of growth factors. J Biomed Mater Res 5884:449. doi: 10.1002/jbm.1040.

8. Jeevitha D, Amarnath K (2013) Chitosan/PLA nanoparticles as a novel carrier for the delivery of anthraquinone: Synthesis, characterization and in vitro cytotoxicity evaluation, Colloids Surfaces B Biointerfaces 101:126. doi: 10.1016/j.colsurfb.2012.06.019.

9. Jamshidian M, Tehrany E A, Imran M, Jacquot M, Desobry S (2010) Poly-Lactic Acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies, Compr Rev Food Sci Food Saf 9:552. doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x.

10. Tawiah B, Yu B, Fei B (2018) Advances in flame retardant poly(lactic acid), Polymers 10:876. doi: 10.3390/polym10080876.

11. Song Y P, Wang D Y, Wang X L, Lin L, Wang Y Z (2011) A method for simultaneously improving the flame retardancy and toughness of PLA. Polym Adv Tech 22:2295. https://doi.org/10.1002/pat.1760

12. Chen H, Wang J, Ni A, Ding A, Sun Z, Han X (2018) Effect of novel intumescent flame retardant on mechanical and flame retardant properties of continuous glass fibre reinforced polypropylene composites. *Compos Struct* 203:894. doi: 10.1016/j.compstruct.2018.07.071.

13. Lim K S, Bee S T, Sin L T, Tee T T, Ratnam C T, Hui D, Rahmat A R (2016) A review of application of ammonium polyphosphate as intumescent flame retardant in thermoplastic composites. Compos. Part B Eng 84:155. doi: 10.1016/j.compositesb.2015.08.066.

14. Fang Q, Zhan Y, Chen X, Wu R, Zhang W, Wang Y, Wu X, He Y, Zhou J, Yuan B, (2022). A bio-based intumescent flame retardant with biomolecules functionalized ammonium polyphosphate enables polylactic acid with excellent flame retardancy. European Polymer Journal, 177, 15, 111479 DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2022.111479

15. Xiaolong W, Weiguang G, Xin M, Chenyang L, Jin G, (2022). Preparation of a biobased core-shell flame retardant and its application in polylactic acid. Journal of Applied Polymer Science, 139, 3115, Article number e52720.. DOI 10.1002/app.52720

16. Qing Z, Huiyuan L, Junxia G, Xiaochun Y, Baojing L, (2022). Synergistic Flame Retardancy of Phosphatized Sesbania Gum/Ammonium Polyphosphate on Polylactic Acid. Molecules (Basel, Switzerland), Open Access, 27, 1525. DOI 10.3390/molecules27154748

17. Clasen S H, Müller C M O, Pires A T N (2015) Maleic anhydride as a compatibilizer and plasticizer in TPS/PLA blends. J Braz Chem Soc 26:1583. doi: 10.5935/0103-5053.20150126.

18. Przybysz M, Hejna A, Haponiuk J, Formela K (2019) Structural and Thermo-Mechanical Properties of Poly(ε-Caprolactone) Modified by Various Peroxide Initiators. Polymers 11:1101. https://doi.org/10.3390/polym11071101

19. Ghasemi S, Behrooz R, Ghasemi I, Yassar S R, Long F, (2017). Development of nanocellulose-reinforced PLA nanocomposite by using maleated PLA (PLA-g-MA), Journal of Thermoplastic Composite Materials, 31, 8, 1-12. https://doi.org/10.1177/08927057177346

20. Hwang S W, Lee S B, Lee C K, Lee J Y, Shim J K, Selke S E M, Soto-Valdez H, Matuana L, Rubino M , Auras R, (2012). Grafting of maleic anhydride on poly(L-lactic acid). Effects on physical and mechanical properties Polymer Testing, 31, 2, 333-344. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.12.005

21. Chow W S, Tham W L, Seow P C (2013) Effects of maleated-PLA compatibilizer on the properties of poly(lactic acid)/halloysite clay composites. J Thermoplast Compos Mater 26:1349. doi: 10.1177/0892705712439569.

22. Tariq A, Ahmad N M, Abbas M A, Shakir F, Khaliq Z, Rafiq S, Ali Z, Elaissari A (2021) Reactive Extrusion of Maleic-Anhydride-Grafted Polypropylene by Torque Rheometer and Its Application as Compatibilizer. Polymers 13:495. https://doi.org/10.3390/polym13040495

23. Ospina-Orejarena A, Graziano R V, Mastillo-Ortega M, Hinestroza J P, Rodriguez-Gonzalez M, Palomares-Aguilera L, Morales-Moctezuma M, Maciel-Cerda A (2016) Grafting collagen on poly (lactic acid) by a simple route to produce electrospun scaffolds, and their cell adhesion evaluation. Tissue Eng Regen Med 13:375. doi: 10.1007/s13770-016-9097-y.

24. Sookprasert P, Hinchiranan N (2017) Morphology, mechanical and thermal properties of poly(lactic acid) (PLA)/natural rubber (NR) blends compatibilized by NR-graft-PLA. J Mater Res 32:788. doi: 10.1557/jmr.2017.9.

25. Gross I P, Schneider F S S, Caro M S B, da Conceição T F, Caramori G F, Pires A T N, (2018) Polylactic acid, maleic anhydride and dicumyl peroxide: NMR study of the free-radical melt reaction product. Polym Degrad Stab 155:1. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2018.06.016.

26. Li W, Zhang L, Chai W, Yin N, Semple K, Li L, Zhang W, Dai C (2021) Enhancement of flame retardancy and mechanical properties of polylactic acid with a biodegradable fire-retardant filler system based on bamboo charcoal. Polymers 13:2167. doi: 10.3390/polym13132167.

27. Nazir R, Gaan S (2020) Recent developments in P(O/S)–N containing flame retardants J App Polym Sci 137:47910. https://doi.org/10.1002/app.47910

28. Wu X, Gong K, Zhao G, Lou W, Wang X, Liu W (2018) Mechanical synthesis of chemically bonded phosphorus-graphene hybrid as high-temperature lubricating oil additive. RSC Adv, 8:4595. doi: 10.1039/c7ra11691h.

29. Singh K, Ohlan A, Saini P, Dhawan S K (2008) Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) g-Fe2O3 polymer composite–super paramagnetic behavior andvariable range hopping 1D conductionmechanism–synthesis and characterization. Polym Adv Technol 19:229. doi:10.1002/pat.1003.

30. Arjmandi R, Ismail A, Hassan A, Abu Bakar A (2017) Effects of ammonium polyphosphate content on mechanical, thermal and flammability properties of kenaf/polypropylene and rice husk/polypropylene composites. *Constr Build Mater* 152:484. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.052.

31. Xue Y, Zuo X, Wang L, Zhou Y, Pan Y, Li J, Yin Y, Li D, Yang R, Rafailovich M H, Guo Y, (2020). Enhanced flame retardancy of poly (lactic acid) with ultra-low loading of ammonium polyphosphate, Composites part B, 196, 108124. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108124

32. Lim K-S, Bee S-T, Sin L T, Tee T-T, Ratnam C T, Hui D, Rahmat A R, (2014). A review of application of ammonium polyphosphate as intumescent flame retardant in thermoplastic composites, Composites part B, 84, 155-174. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.08.066

33. Hanna A A, Nour M A, Souaya E R, Sherief M A, Abdelmoaty A S (2018) Studies on the flammability of polypropylene/ammonium polyphosphate and montmorillonite by using the cone calorimeter test, Open Chem 16:108. doi: 10.1515/chem-2018-0013.

34. Wang J, Shi H, Zhu P, Wei Y, Hao J (2020) Ammonium polyphosphate with high specific surface area by assembling zeolite imidazole framework in EVA resin: Significant mechanical properties, migration resistance, and flame retardancy. Polymers 12:534. doi: 10.3390/polym12030534.

35. Zhao X, Guerrero F R, Llorca J, Wang D Y (2016) New Superefficiently Flame-Retardant Bioplastic Poly(lactic acid): Flammability, Thermal Decomposition Behavior, and Tensile Properties. ACS Sustain Chem Eng 4:202. doi: 10.1021/acssuschemeng.5b00980.

36. Ouyang Z, Yang Y, Zhang C, Shumin Z, Qin L, Wang W, He D, Zhou Y, Luo H, Qina F (2021) Recent advances in photocatalytic degradation of plastics and plastic-derived chemicals. J Mater Chem A 9:13402. https://doi.org/10.1039/D0TA12465F

37. Zhao P, Liu Z, Wang X, Pan Y T, Kuehnert I, Gehde M, Wang D Y, Leuteritz A (2018) Renewable vanillin based flame retardant for poly(lactic acid): A way to enhance flame retardancy and toughness simultaneously, RSC Adv 8:42189. doi: 10.1039/c8ra08531e.

MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE PERMISSÃO DE LAVRA GARIMPEIRA DE MINÉRIO DE OURO E CASSITERITA EM TUCUMÃ - PA

Data de aceite: 02/08/2023

Wallas Marques da Silva
Universidade Federal do Pampa
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
http://lattes.cnpq.br/9274444854658028

Pedro Daniel da Cunha Kemerich
Universidade Federal do Pampa
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
http://lattes.cnpq.br/1559795466706150

RESUMO: Os impactos ambientais são facilmente identificados quando a atividade econômica envolve o uso de recursos naturais. Estes existem desde a fase de planejamento, tendo aumento na implantação e maximizados continuamente na operação. Para as lavras garimpeiras, que podem ter portes diversos, estes impactos envolvem premissas que vão desde o entendimento sobre os meios físicos, bióticos e socioeconômicos, em conformidade com a legislação ambiental e minerária vigente. Este trabalho, tem por objetivo a identificação dos impactos ambientais observados em permissão de lavra garimpeira situada em Tucumã – PA, nos quais foram mapeados os meios, a atividade transformadora, o impacto ambiental e a medida de controle adotada pelo empreendimento em atenção ao porte e potencial poluidor para atividade, associada a metodologia de lavra e beneficiamento mineral projetada, ora aprovada, pelo Secretaria de Meio Ambiente, Turismo e Indústria de Tucumã e Agência Nacional de Mineração.

PALAVRAS–CHAVE: lavra garimpeira, impacto ambiental, medidas de mitigação, poluição ambiental.

MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE PLANNING AND IMPLEMENTATION OF PERMISSION FOR MINING GOLD ORE AND CASSITERITE MINING IN TUCUMÃ - PA

ABSTRACT: Environmental impacts are easily identified when economic activity involves the use of natural resources. These exist from the planning stage, increasing in implementation and continually maximized in operation. For prospecting mines, which can be of different sizes, these impacts involve assumptions ranging from understanding the physical, biotic and socioeconomic environments, in accordance with current environmental and mining legislation. The

objective of this work is to identify the environmental impacts observed in a gold mining permit located in Tucumã - PA, in which the means, the transforming activity, the environmental impact and the control measure adopted by the enterprise were mapped in attention to the size and polluting potential for the activity, associated with the projected mining and mineral processing methodology, now approved, by the Secretariat of the Environment, Tourism and Industry of Tucumã and the National Mining Agency.
KEYWORDS: mining, environmental impact, mitigation measures, environmental pollution.

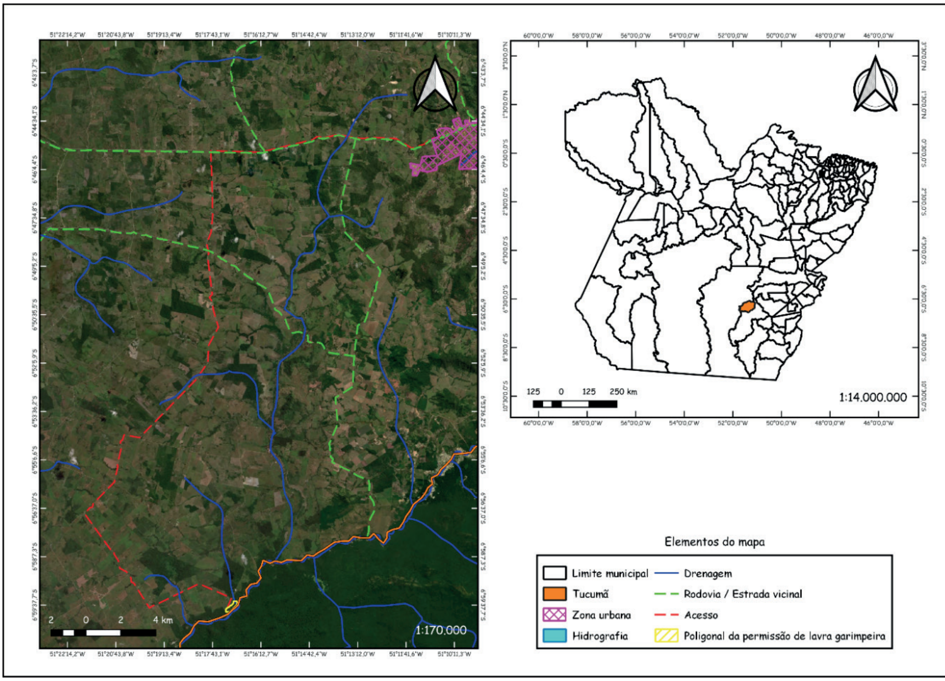
INTRODUÇÃO

O empreendimento minerário objeto deste estudo é a permissão de lavra garimpeira de titularidade do garimpeiro Jeann Souza Ribeiro, no qual foram mensurados os impactos ambientais decorrentes da instalação das estruturas a serem utilizadas na mina.

A lavra garimpeira, em seu planejamento requer atenção das partes que compõem o objeto de interesse, seja este o minerador, comunidade, superficiários e técnicos do projeto como um todo. Tal necessidade se deve ao fato de ter-se inúmeros pontos considerados sensíveis para o empreendimento e que por dotar de capacidade financeira menor que lavras de maior nível, fazer-se o básico para operação torna-se o grande desafio.

O empreendimento em seu histórico foi iniciado em 18/12/2019 no qual o titular da permissão de lavra requereu junto a Agência Nacional de Mineração no Estado do Pará, o direito para exercer a atividade de mineração para a extração de minério de ouro e cassiterita, gerando assim o processo minerário nº 48059.851005/2019-72.

Em 15/06/2020 foi requerido pedido de licença, conforme processo ambiental nº 044/2020 junto à Secretaria de Meio Ambiente, Turismo e Indústria – SEMATI. Em 08/10/2021 em atendimento a compromisso firmado com o empreendedor, foi apresentado pedido de redução da área originalmente requerida, de 21,00 hectares para um total de 18,41 hectares. A redução foi necessária tendo em vista a exclusão de área degradada, cujo aproveitamento de resíduos e rejeitos minerários seriam inviáveis. Em 30/08/2021 foi emitida licença de operação nº 0041/2021. Em 02/03/2022 foi publicado título de permissão de lavra garimpeira nº 76/2022. Após licenciamento minerário e ambiental que duraram por cerca de 805 dias, desde o requerimento até a publicação do título de permissão de lavra garimpeira, o empreendedor iniciou em maio de 2022 as atividades de instalação de estrutura necessária para o funcionamento do empreendimento, nomeando como Mina Taperebá. O empreendimento pode ter sua localização visualizada no mapa 01.



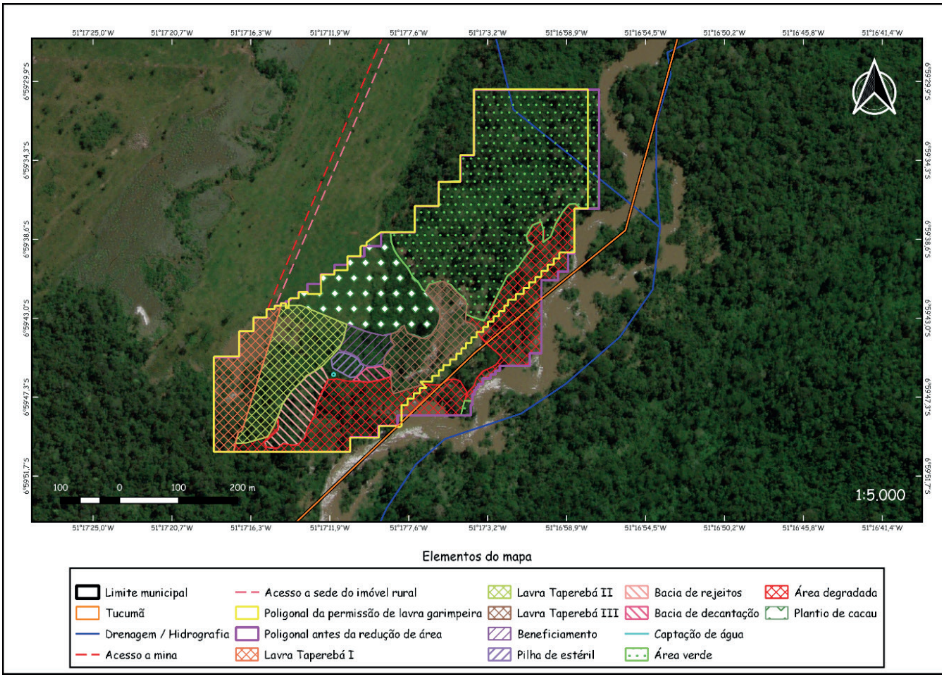
Mapa 01: Acesso a permissão de lavra garimpeira

Fonte: O autor (2022)

O empreendimento possui projetada a extração mineral para ocorrer em três frentes de lavra, a serem operadas de modo subsequente ao exaurimento da cava anterior, além de planta de beneficiamento, tanque de decantação e demais instalações básicas para uso individual e coletivo, tais como alojamento, refeitório e vestiários; devidamente autorizadas pelo órgão ambiental competente.

Convém ressaltar, que todas as estruturas a serem instaladas no empreendimento, passaram a e constam no Plano de Fechamento de Mina apresentado pelo empreendedor junto a Agência Nacional de Mineração, em atendimento a Resolução ANM nº 68/2021. Neste constam os elementos necessários para recuperação das áreas atingidas pela extração e forma que dará-se o descomissionamento das estruturas construídas ou móveis.

Assim, edificações e demais estruturas minerárias, quando da aplicação deste procedimento, serão norteados conforme projeção proposta pelo empreendedor, podendo a mesma ainda ser alterada face a legislação vigente. No mapa 01 têm à disposição das estruturas elencadas.

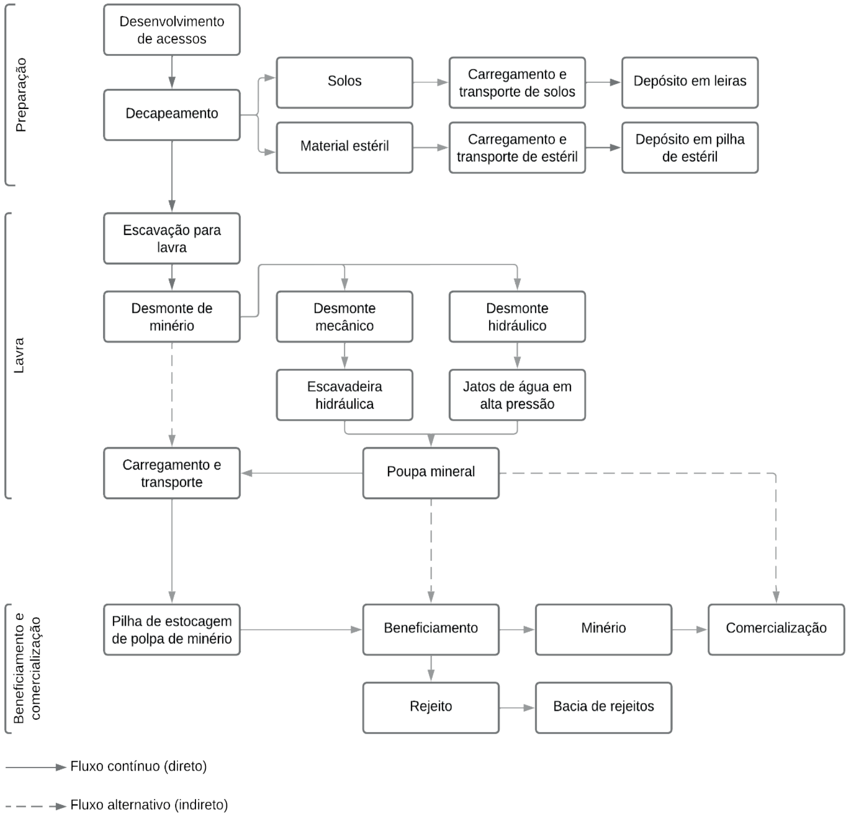


Mapa 01: Identificação da permissão de lavra garimpeira no imóvel rural

Fonte: O autor (2022)

A área total a ser afetada pelo empreendimento, envolvendo todas as operações de extração, beneficiamento, instalações civis, circulação, expedição, entre outras, estão especificadas no layout do mapa 01. A área de lavra e beneficiamento da lavra garimpeira necessitaram de supressão vegetal, ora concedida através do ASV nº 001/2021, outorgado pela Secretaria de Meio Ambiente, Turismo e Indústria da Prefeitura Municipal de Tucumã. Considera-se para tanto, como áreas afetadas para a instalação das estruturas necessárias, que necessitaram de modificação. Na Mina Taperebá, as alterações iram dar-se no contexto de remoção de vegetação e na mobilização de material oriundo do decapeamento de solo orgânico e/ou argiloso, ora necessário para que o corpo mineral seja alcançado.

Para tanto, no fluxograma 01 é possível visualizar as etapas operações, bem como denotar os locais de maior geração de impactos ambientais, conforme metodologia e assim ser aplicada, eventualmente, na operação mineral, a melhor técnica que venha a diminuir este.



Fluxograma: Fluxo das operações de lavra garimpeira

Fonte: O autor (2022)

IMPACTOS AMBIENTAIS

De acordo com a Resolução CONAMA nº 001/89, impacto ambiental é definido como sendo "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas no meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais". Em complemento, o Decreto nº 88.351/83, revogado pelo Decreto nº 99.274/90, que regulamenta a Lei nº 6.938/81, à vinculação do licenciamento ambiental é designado aos órgãos e sistemas de licenciamento estaduais, onde estes devem controlar e regular as atividades poluidoras por meio de normas e procedimentos, que ao serem executados, possuam o caráter minimizador da prática econômica em questão.

Mechi e Sanchez (2010) elucidam que praticamente, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos que podem acarretar em assoreamento dos corpos

d’água do entorno. A qualidade das águas dos rios e reservatórios da mesma bacia, a jusante do empreendimento, pode ser prejudicada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão, assim como pela poluição causada por substâncias lixiviadas e carreadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxa, metais pesados. Estes últimos podem também atingir as águas subterrâneas. O regime hidrológico dos cursos d’água e dos aquíferos pode ser alterado quando se faz uso desses recursos na lavra (desmonte hidráulico) e no beneficiamento, além de causar o rebaixamento do lençol freático.

Nesse ínterim, Mechi e Sanches (2010) abordam que “muitas vezes, os locais de ocorrência são ambientalmente sensíveis e importantes para a preservação da biodiversidade, dos recursos hídricos, da paisagem ou de demais recursos naturais com função ambiental de grande importância.”

A lavra garimpeira assim como outra atividade de mineração geram impactos que precisam de medidas arrojadas para minimização destes, bem como constantes atividades de monitoramento feitas por profissionais com conhecimento e habilidades para que proposições possam ser feitas além das aprovadas no projeto ambiental, face a movimento de renovação e/ou melhoramento das ações. Assim, para a avaliação dos impactos considerou-se os seguintes critérios definidores das alterações: quanto à natureza, podendo serem positivas quando benéficas e, negativas quando adversas; quanto à magnitude, definida por uma escala de três categorias baixa, média e alta densidade; wuanto à abrangência (extensão), pontual ou local, se relacionado à área de influência direta do empreendimento, ou regional, se relacionado à área de influência indireta do empreendimento (num raio de 2,00 km), podendo eventualmente extrapolar esses limites; quanto à reversibilidade, reversível e irreversível; quanto ao período de duração, com quatro categorias, curto, médio, longo prazo e permanente.

Para tanto, a regulamentação para o garimpo ocorrer de forma legalizada para o minerador culturalmente adaptado a esta pratica, iniciará a partir do transcrito no inciso I do art. 70 do Decreto Lei nº 227/1967, na qual define que “garimpagem, o trabalho individual de quem utilize instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáveis, na extração de pedras preciosas, semipreciosas e minerais metálicos ou não metálicos, valiosos, em depósitos de eluvião ou aluvião, nos álveos de cursos d’água ou nas margens reservadas, bem como nos depósitos secundários ou chapadas (grupiaras), vertentes e altos de morros; depósitos esses genericamente denominados garimpos.”

Para Leite *et al* (2017) *apud* Silva (2001) descreve que os impactos gerados pelas minerações abrangem diversas áreas, ocasionam alterações geomorfológicas, biológicas, hídricas e atmosféricas, tais como: retirada da cobertura de vegetação, poluição e contaminação dos solos e recursos hídricos pelas substâncias utilizadas, aumento do processo de erosão, sedimentação e assoreamento dos rios, poluição do ar, geração de resíduos, mortalidade dos animais, migração dos animais da área e poluição sonora.

Assim, em atenção aos impactos observados na literatura qualificável e ao observado em campo, os impactos que podem ser descritos que são os existentes no

empreendimento em questão, face as áreas afetadas pela futura operação, temos que os seguintes as atividades transformadoras foram identificadas e expostas no quadro 01.

Fase	Meio afetado	Atividade transformadora	Impacto ambiental	Medida de controle
Planejamento	Antrópico	Movimentação de equipe relacionada ao licenciamento ambiental e ao empreendimento	Geração de expectativas relacionadas ao empreendimento	Desenvolvimento de campanhas educativas de conscientização, informação e ações socioambientais
			Risco de atritos diversos	Desenvolvimento de programa de comunicação social
Implantação	Biótico	Supressão de vegetação	Possibilidade de redução da variedade genética da flora terrestre	Cultivo de espécimes nativos do entorno da área de influência do empreendimento para fins de reflorestamento
			Deslocamento de fauna	Resgate e salvamento de espécimes encontradas nas áreas de supressão
			Perda de habitat da fauna	Recuperação e regeneração vegetal da área após o final da operação mineral
	Antrópico	Contratação de serviços	Geração de empregos diretos e indiretos	Contratação de mão-de-obra local
			Ocorrências de acidentes de trabalho	Treinamentos, utilização de EPI'S, sinalização do empreendimento
		Construção de unidade de apoio	Movimentação da economia local	Priorizar o comércio local na aquisição de produtos e serviços
			Ocorrências de acidentes de trabalho	Treinamentos, utilização de EPI'S, sinalização do empreendimento
	Físico	Melhoramento dos acessos	Desencadeamento de processos erosivos e movimento de massas	Manutenção periódica das vias de acesso e circulação
				Umectação das vias de acesso ao empreendimento
		Remoção da vegetação e do solo superficial	Alteração da permeabilidade do solo	Aumento da vegetação nos locais sem estruturas minerais
				Construção de drenos
				Manutenção de vias de acesso e circulação com agregados tais como seixo e brita.
			Possibilidade de redução do número de exemplares nas populações de fauna terrestre	Monitoramento ambiental por profissional habilitado para com as ocorrências de animais silvestres na lavra garimpeira
	Antrópico	Circulação de pessoas	Risco de acidentes	Treinamentos, utilização de EPI'S, sinalização do empreendimento
	Físico	Circulação de máquinas e veículos	Alteração da qualidade do ar e dos níveis de ruídos	Manutenção periódica das máquinas e equipamentos da lavra garimpeira
				Monitoramento dos níveis de qualidade do ar e de ruídos através do uso de equipamentos de captação
	Antrópico		Ocorrências de acidentes de trabalho	Treinamentos, utilização de EPI'S, sinalização do empreendimento
	Biótico	Determinação da frente de lavra	Deslocamento de fauna	Resgate e salvamento de espécimes encontradas nas áreas de supressão
		Preparação das frentes de lavra	Perda de habitat da fauna e flora	Recuperação e regeneração vegetal da área após o final da operação mineral

Quadro 01: Identificação dos impactos ambientais conforme atividade

Fonte: O autor (2022)

Neste panorama, frente as várias necessidades da sociedade globalizada, ávida por desenvolvimento e novas tecnologias, as comodities minerais são largamente utilizadas e essenciais para tal. Todavia é necessário destacar, que cada ação gera impacto, que merece destaque. Assim, Mechi e Sanchez (2010), trazem a seguinte abordagem, conceitualmente bem definida sobre os impactos da mineração e suas implicações:

> "Praticamente, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos que podem acarretar em assoreamento dos corpos d'água do entorno. A qualidade das águas dos rios e reservatórios da mesma bacia, a jusante do empreendimento, pode ser prejudicada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão, assim como pela poluição causada por substâncias lixiviadas e carreadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxa, metais pesados. Estes últimos podem também atingir as águas subterrâneas. O regime hidrológico dos cursos d'água e dos aquíferos pode ser alterado quando se faz uso desses recursos na lavra (desmonte hidráulico) e no beneficiamento, além de causar o rebaixamento do lençol freático. O rebaixamento de calha de rios com a lavra de seus leitos pode provocar a instabilidade de suas margens, causando a supressão das matas ciliares, além de possibilitar o descalçamento de pontes com eventuais rupturas. Com frequência, a mineração provoca a poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra, beneficiamento e transporte, ou por gases emitidos da queima de combustível. Outros impactos ao meio ambiente estão associados a ruídos, sobrepressão acústica e vibrações no solo associados à operação de equipamentos e explosões."

É facilmente observado o quão é a relação de impactos ambientais que podem ser ocasionados pela mineração e quando esta ocorre de maneira desordenada, temos danos que podem ser irreversíveis.

Contudo, o planejamento é ferramenta crucial ao desenvolvimento correto da atividade de lavra garimpeira, de modo que esta seja compatível com as práticas ambientais difundidas no setor minerário.

METODOLOGIA

Utilizou-se como metodologia, o uso de bibliografias disponíveis em meios físicos e virtuais, utilização de software Q.GIS 3.24.3 para desenvolvimento de mapas, bem como premissas do projeto ambiental aprovado pelo órgão ambiental competente e observações de campo, em compatibilidade com a legislação ambiental e minerária amplamente difundida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pontuados os impactos ambientais para a atividade minerária de lavra garimpeira, face aos riscos existentes para os meios físicos, bióticos e socioeconômicos, a vigilância

da operação em si, por mais que esta possua processos operacionais simplificados e/ou reduzidos, estes devem ser observados, pontuados e punidos, se por ventura representarem risco de magnitude diversa. Para a lavra garimpeira objeto deste trabalho, pode-se observar que os impactos gerados são em sua grande maioria como sendo pontuais e/ou locais, de baixa a média magnitude, boa parte são reversíveis, estando distribuídos por períodos considerados de curto e médio prazo.

Desta forma, os empreendimentos de lavra garimpeira devem adotar procedimentos com amplo suporte ao bem estar dos meios afetados, ora degradados e a serem recuperados, adequando a regeneração do habitat para as gerações futuras.

Durante a fase de planejamento do empreendimento minerário de lavra garimpeira, faz-se uso inicialmente de metodologia de mapeamento e diagnóstico amplamente difundida no meio técnico, bem como pela compilação de dados coletados em campo, para construção da forma final dos métodos a serem utilizados. Na instalação, tem-se impactos ainda assim considerados de pequeno e/ou médio porte, uma vez que o fator gerador, são carreteados de procedimentos temporários e locais.

A atenção deve ser dada de fato a operação da lavra garimpeira, que haja vista, o método de lavra utilizado, o porte dos equipamentos, dentre outras premissas, os fatores que podem corroborar com impactos ambientais severos e de longa duração, estão basicamente identificados nesta etapa do empreendimento.

REFERÊNCIAS

______. Decreto - Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. **Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas).** Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del0227.htm>. Acessado em 01 de outubro de 2022.

______. Decreto nº 88.351/83, de 01º de junho de 1989. **Regulamenta a Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, e a Lei n° 6.902, de 27 de abril de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental, e dá outras providências.** Brasília, DF. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d88351.htm>. Acessado em 10 de outubro de 2022.

______. Decreto nº 99.274/90, de 06 de junho de 1990. **Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.** Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acessado em 10 de outubro de 2022.

______. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acessado em 09 de outubro de 2022.

______. Resolução CONAMA nº 01/1989, de 03 de abril de 1989. **Dispõe sobre a criação de Câmaras Técnicas para analisar o Programa Nossa Natureza.** Brasília, DF. Disponível em: < https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-030489.PDF>. Acessado em 10 de outubro de 2022.

______. Resolução ANM nº 85, de 02 de dezembro de 2021. **Dispõe sobre procedimentos para o aproveitamento de rejeitos e estéreis.** Brasília, DF. Disponível em: <https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.p h p ? a c a o = a b r i rT e x t o Ato&link=S&tipo=RES&numeroAto=00000085&seqAto=000&valorAno=2021&orgao=DC/ANM/MME&cod_modulo=351&cod_menu=6675>. Acessado em 07 de janeiro de 2023.

LEITE, Amália Lima; FREITAS, Ivna Gomes de; OLIVEIR, Estephano Bessa de; MARINHO, Márcia Thelma R. D. **Atividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense.** XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas: Instituto de Geociências - Unicamp, 2017.

MECHI, Andrea; SANCHES, Djalma Luiz. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo.** São Paulo: Scielo, 2010. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/ea/a/TNzjZ3HD8K6rCvSSWPtsZgC/?lang=pt>. Acessado em 25 de agosto de 2022.

CAPÍTULO 6

CARACTERÍSTICAS DO REGIME DE PERMISSÃO DE LAVRA GARIMPEIRA NO ÂMBITO DA LEGISLAÇÃO MINERÁRIA E OS PRINCIPAIS DESAFIOS AMBIENTAIS

Data de aceite: *Data de aceite: 02/08/2023*

Wallas Marques da Silva
Universidade Federal do Pampa
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
http://lattes.cnpq.br/9274444854658028

Pedro Daniel da Cunha Kemerich
Universidade Federal do Pampa
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
http://lattes.cnpq.br/1559795466706150

RESUMO: O regime de permissão de lavra garimpeira, em sua concepção técnica e jurídica, representa para uma parcela significativa de mineradores e/ou garimpeiros, uma ferramenta de apoio a mineração artesanal, por possuir menor nível de burocracias se comparado aos demais mecanismos existentes. No contexto de sua concepção, existe a necessidade de respeito as normas minerárias e ambientais, em especial na elaboração dos projetos que serão submetidos a Agência Nacional de Mineração e aos órgãos ambientais competentes, de modo que estes consigam mapear os principais pontos do futuro empreendimento, para que práticas de mitigação, recuperação e preservação, além da garantia de segurança ao trabalhador inserido nesta, sejam executados coerentemente, além da fiscalização incisiva de modo a coibir práticas predatórias e/ou irregulares. Para tanto, este trabalho tem como principal objetivo demonstrar a forma do regime de permissão de lavra garimpeira na legislação minerária, sua operação e os impactos mais comuns. Com esse propósito, utilizou-se banco de dados sobre a legislação minerária, por meio de consultas a sítios físicos e digitais, bem como de conhecimentos já difundidos nos meios técnicos, científicos e acadêmicos sobre a operação de mina e de mapeamento dos impactos ambientais conhecidos de primeira ordem.

PALAVRAS-CHAVE: legislação ambiental, legislação mineral, meio ambiente, lavra garimpeira e responsabilidade social.

CHARACTERISTICS OF THE MINING PERMISSION REGIME UNDER THE MINING LEGISLATION AND THE MAIN ENVIRONMENTAL CHALLENGES

ABSTRACT: The mining permission regime, in its technical and legal conception, represents for a significant portion of miners

and/or prospectors, a support tool for artisanal mining, as it has a lower level of bureaucracy compared to other existing mechanisms. In the context of its design, there is a need to respect mining and environmental standards, especially in the preparation of projects that will be submitted to the National Mining Agency and the competent environmental bodies, so that they can map the main points of the future enterprise, so that mitigation, recovery and preservation practices, in addition to guaranteeing the safety of the worker included in this, are carried out coherently, in addition to incisive supervision in order to curb predatory and/or irregular practices. Therefore, this work has as main objective to demonstrate the form of the gold mining permission regime in the mining legislation, its operation and the most common impacts. For this purpose, a database on mining legislation was used, through consultations on physical and digital sites, as well as knowledge already disseminated in technical, scientific and academic circles about mine operations and mapping of known environmental impacts of first order.
KEYWORDS: environmental legislation, mineral legislation, environment, mining and social responsibility.

INTRODUÇÃO

A atividade minerária por meio da extração artesanal e/ou garimpo, são comuns e frequentes nas mais distintas regiões do país e estão inseridas no contexto cultural de inúmeras localidades, sendo referência e expoentes para o desenvolvimento econômico, particularizando-as zonas extrativas garimpeiras. Em estados como a Bahia, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Roraima, por exemplo, este tipo de atividade é corriqueira, seja pela ocupação legalizada, ora devidamente licenciada e com projetos ambientais e minerários aprovados pelos órgãos ambientais competentes e pela Agência Nacional de Mineração; sejam por aqueles consideradas ilegais.

Entende-se que a mineração ilícita, acarretam não somente em prejuízos ao erário, como também, impactos ambientais grosseiros, já que esse tipo de lavra é relacionado a extração com finalidade econômica imediata; desta forma, a explotação mineral ocorrerá sem critérios e técnicas apropriadas, gerando inúmeros efeitos e danos ambientais, que não são reversíveis no curto prazo.

É importante ser frisado, que diferentemente de outras atividades econômicas, a mineração em si não é especifica e/ou de livre escolha, uma vez que as ocorrências minerais poderão estar situadas em áreas diversas. Na construção civil por exemplo, há a possibilidade de escolha quanto ao local em que será feita determinado tipo de obra. O mesmo pode ser ressaltado para a agropecuária, cujos terrenos onde serão cultivados determinada safra ou a criação de animais, estes podem ser preparados de modo a garantir o êxito da atividade. A mineração, entretanto, por não possuir características de mobilidade, requer que estruturas sejam instaladas para que a mesma possa existir. A instalação de tais itens, podem afetar drasticamente o meio biótico, socioeconômico, cultural, dentre outros aspectos.

Nesse ínterim, Mechi e Sanches (2010) abordam que muitas vezes, os locais

de ocorrência são ambientalmente sensíveis e importantes para a preservação da biodiversidade, dos recursos hídricos, da paisagem ou de demais recursos naturais com função ambiental de grande importância. Ainda, conforme Mechi e Sanches (2010) a mineração causa impacto significativo ao meio ambiente, pois quase sempre o desenvolvimento dessa atividade implica na supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos.

Desta forma, a mineração e o seu regime de operação, devem estar atentos as boas práticas, para que os meios possuam o menor impacto possível em contraste aos vários riscos existentes na atividade, seja esta de pequeno, médio ou grande porte.

A lavra garimpeira na legislação

A Constituição Federal em seu art. 225 § 2º traz que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei. Ainda, o Código de Mineração específica que a regulamentação para o garimpo ocorrer de forma legalizada para o minerador culturalmente adaptado a esta pratica, ocorre inicialmente a partir do transcrito no inciso I do art. 70 do Decreto Lei nº 227/1967, na qual define que "garimpagem, o trabalho individual de quem utilize instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáveis, na extração de pedras preciosas, semipreciosas e minerais metálicos ou não metálicos, valiosos, em depósitos de eluvião ou aluvião, nos álveos de cursos d'água ou nas margens reservadas, bem como nos depósitos secundários ou chapadas (grupiaras), vertentes e altos de morros; depósitos esses genericamente denominados garimpos."

Posteriormente, a partir da Lei nº 7.805/1989 é criado o regime de permissão de lavra garimpeira, no qual em seu parágrafo único, traz que "o regime de permissão de lavra garimpeira é o aproveitamento imediato de jazimento mineral que, por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de prévios trabalhos de pesquisa, segundo critérios fixados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral."

Nesse contexto, é observável que a lavra garimpeira não necessita para seu desenvolvimento técnico, da aferição da existência de cubagem da área em que ocorrerá a extração. Entretanto, o § 1º do art. 10 da Lei nº 7.805/1989 e o inciso III do art. 2º da Lei nº 11.685/2008 trazem a definição de minerais que podem ser garimpados, "são considerados minerais garimpáveis o ouro, o diamante, a cassiterita, a columbita, a tantalita e wolframita, nas formas aluvionar, eluvionar e coluvial; a sheelita, as demais gemas, o rutilo, o quartzo, o berilo, a muscovita, o espodumênio, a lepidolita, o feldspato, a mica e outros, em tipos de ocorrência que vierem a ser indicados, a critério do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM." Desta forma, embora haja uma grande variedade mineralógica e/

ou petrográfica de substâncias aptas ao regime de permissão de lavra garimpeira, este contém restrições aqueles que culturalmente compõem a atividade de garimpo no Brasil. Em tempo com o advento da Lei nº 11.685/2008, foi adicionada a legislação minerária para o regime de permissão de lavra garimpeira, o Estatuto do Garimpeiro, que define conceitos e premissas importantes a esta modalidade da mineração.

Ainda, outras normatizações foram aplicadas ao regime de permissão de lavra garimpeira, feitas pela Agência Nacional de Mineração no intuito de desburocratizar e de aprimorar procedimentos, em algumas situações considerados defasados ou de pouco rigor, corroborando em um passado não tão distante em práticas predatórias e agressivas ambientalmente.

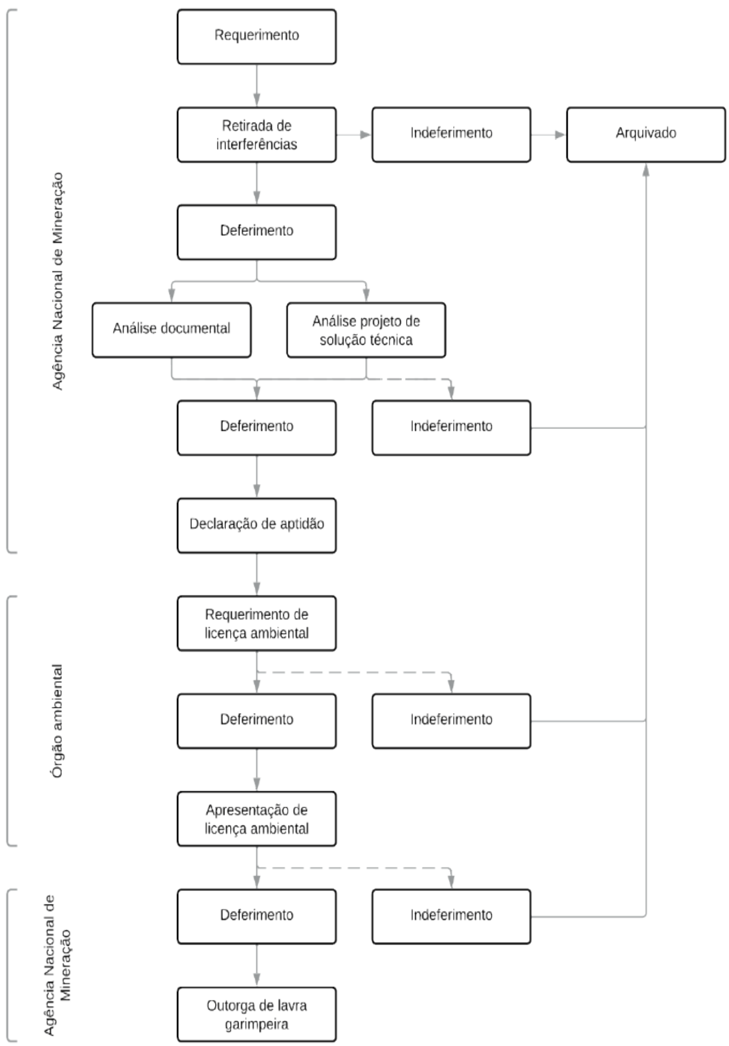
Dentre as normas para o de permissão de lavra garimpeira, a Portaria nº 178/2004 trouxe ao meio técnico, os principais elementos de instrução a serem exigidos; sendo posteriormente alterado pela Portaria nº 267/2008. Todavia, o Departamento Nacional de Produção Mineral, atual Agência Nacional de Mineração, a partir da Portaria nº 155/2016, consolidou várias normas e procedimentos administrativos, no intuito de instituir regramento padronizado para os regimes minerários existentes, em um movimento de desburocratização das práticas regulatórias para o setor mineral. Nesta portaria, em seu capítulo IV, dispõe sob a forma da permissão de lavra garimpeira, no tangente aos aspectos técnicos em termos de projetos a serem desenvolvidos, documentos necessários para formação de processo, etapa do licenciamento ambiental, outorga e vigência do título, dentre outras explanações. Estes elementos, excluso a necessidade de assentimento, a depender da localização do requerimento, contém elementos relativamente simples para serem desenvolvidos, contrastando com o potencial de degradação e poluição da lavra garimpeira, que deveriam exigir do minerador, maior nível de detalhamento quanto a solicitação pleiteada.

Por muitos anos, dada a sua simplicidade, a lavra garimpeira, passou por inúmeros preconceitos, quanto a sua eficácia em implantação bem como de ser fiscalizada pela Agência Nacional de Mineração. A partir da Ordem de Serviço nº 595/2021, o órgão adotou a exigência de projeto de solução técnica para os requerimentos existentes e novos, bem como para as lavras garimpeiras já em operação. O item 1.2 desta normativa sugere os principais tópicos que o projeto deve conter “O Projeto de Solução Técnica, elaborado por profissional legalmente habilitado e acompanhado da devida Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, deverá identificar o método de lavra, relação de equipamentos, benfeitorias, escala de produção e investimento previstos.”

Ainda, com o advento da exigência do Projeto de Solução Técnica para o regime de Permissão de Lavra garimpeira, têm-se a contextualização da forma que em que se dará a operação desta atividade, bem como das medidas de segurança a serem adotadas pelo empreendedor mineral. Outrora, ainda à visualização quanto as principais medidas socioambientais a serem aplicadas, dado o porte do empreendimento e do nível potencial

poluidor.

Desta forma, o Projeto de Solução Técnica, traz a grosso modo, ordenação e responsabilidade ao minerador, tendo em vista que a lavra não poderá ser executada aleatoriamente e tão pouco da forma que melhor for conveniente. Não obstante, é encômio que a partir deste tipo de exigência ao minerador por meio do regime minerário aqui abordado, que a regulação, fiscalização e determinação de procedimentos técnicos, passa a ter também responsabilidade abrangida pela Agência Nacional de Mineração. A partir destas referências quanto a forma que se dá o regime de permissão de lavra garimpeira e sua respectiva tramitação processual, têm-se o fluxograma 1 como elemento de construção gráfica do processo em si.



Fluxograma 1: Forma da análise do requerimento à outorga da lavra garimpeira

Fonte: O autor (2022)

Com a cobrança de elementos técnicos mais detalhados, o órgão regulador da mineração no Brasil, passa a ser protagonista na regulação com mais critério dos elementos necessários à outorga da lavra garimpeira, minimizando assim a sobrecarga sobre os órgãos ambientais, em qualquer esfera de poder. Dentro destes itens de ordem técnica, deve-se ainda ser ressalto a necessidade do Plano de Fechamento de Mina, cuja exigência passou a ser feita com a publicação da Resolução ANM nº 68/2021.

Nesta resolução e em suas posteriores retificações, a definição quanto a obrigatoriedade da apresentação de documento técnico, com a redação “Art. 3º Os empreendimentos minerários com títulos autorizativos de lavra vigentes e em operação deverão apresentar, no prazo de 12 (doze) meses contados da publicação desta Resolução, um PFM atualizado, nos termos do Capítulo II desta Resolução.” Desta forma, o regime de Permissão de Lavra Garimpeira, por ser um título minerário de extração, têm a plena obrigação da apresentação de PFM, conforme regulação desta resolução.

A Seção I do Capítulo II da Resolução ANM nº 68/2021 esclarece os elementos que devem constar no PFM, além de que os requerimentos de titulo para lavra e os já outorgado, devem também apresentar o projeto em sua concepção. Todavia, como mecanismo de auxílio ao minerador, caso não ocorra a protocolização destes, exigências sobre o mesmo podem ocorrer no âmbito da tramitação dos processos minerários relacionadas a lavra.

Além de outras obrigatoriedades transcorrentes ao PFM, a normativa traz elementos sobre a atualização que deverá ocorrer a cada 05 anos. Cabe ainda ao minerador o dever de comprovar a execução dos itens abordados e conceituados no projeto entregue a Agência Nacional de Mineração.

A operação da lavra garimpeira envolvem práticas já amplamente difundidas no meio técnico, no tangente a metodologia de lavra, beneficiamento, contenção de rejeitos, estéreis; bem como pelas medidas de redução dos impactos ambientais que associadas a medidas de controle, devem ser horizonte para o uso sustentável na exploração dos recursos minerais, o que acaba sendo desafiador para os envolvidos.

Impactos ambientais

Leite et al (2017) apud Silva (2001) descreve que os impactos gerados pelas minerações abrangem diversas áreas, ocasionam alterações geomorfológicas, biológicas, hídricas e atmosféricas, tais como: retirada da cobertura de vegetação, poluição e contaminação dos solos e recursos hídricos pelas substâncias utilizadas, aumento do processo de erosão, sedimentação e assoreamento dos rios, poluição do ar, geração de resíduos, mortalidade dos animais, migração dos animais da área e poluição sonora.

A lavra garimpeira assim como outra atividade de mineração geram impactos que precisam de medidas arrojadas para minimização deste.

Assim, Leite et al (2017) afirma que os impactos acarretados pelas atividades que

comprometem o meio ambiente, que consistem em: treinamentos com os funcionários, implantação de gerenciamento de resíduos sólidos, tratamento dos efluentes, inspeção no maquinário, monitoramento constante das áreas limítrofes, impermeabilização dos solos para não serem contaminados com óleos e substâncias perigosas utilizadas, preservação e manutenção das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) próximas do local, recuperação de áreas degradadas e monitoramento dos recursos hídricos.

Por sua vez Milanez (2017) corrobora com a seguinte elucidação sobre a responsabilidade para o setor, onde os impactos socioambientais da mineração não são simples, nem espacialmente limitados, muito menos temporalmente restritos. Na verdade, muitos deles são ecologicamente complexos, espacialmente amplos e, por serem irreversíveis, temporalmente permanentes.

Todavia, embora ampla a lista de minerais, complementações diversas no âmbito da legislação minerária e ambiental, existe ainda, nos dias atuais, extração e comercialização a ocorrer de forma clandestina, em grande parte, por atividades não-minerárias estarem situadas em áreas de reservas ambientais de uso sustentável e/ou permanente, áreas de bloqueio, terras indígenas, entre outros; os quais o licenciamento não é permitido por restrições constitucionais bem como pelos vastos impactos ambientais que a depender do porte do empreendimento, pode ocasionar danos de longo prazo, com elevado potencial poluidor e em alguns casos irreversíveis.

Estas extrações, de modo genérico têm sido caracterizadas como garimpo pelos diversos meios de imprensa existentes no Brasil. Entretanto, é observável que o garimpo é uma atividade prevista na legislação minerária brasileira e o emprego da nomenclatura para caracterizar usurpação de subsolo, traz malefícios aos que atuam diariamente em prol do desenvolvimento de ações equilibradas para este nicho da mineração no país.

Não se deve, portanto, confundir lavra garimpeira e/ou garimpo com extração ilegal e/ou usurpação de subsolo. A ocorrência de tais premissas de defraudação de patrimônio do povo brasileira, cabe aos órgãos de polícia, dos organismos de gestão de florestas, dos agentes ambientais e dada ao nível de risco, de acréscimo das forças armadas.

Como a usurpação possui ação imediata, os danos ambientais são inúmeros, gerando cadenciamento longínquo, alguns destes prejuízos, como o afugentamento da fauna local, perca de espécimes vegetais, erosão de leitos fluviais, assoreamento de rios, contaminação de lençóis e/ou bacias freáticos e hidrográfico, respectivamente, dentro outros itens; não são reversíveis no curto prazo. Na maior parte dos casos as áreas degradadas, após exaustão do minério de interesse dos agressores, esta é abandonada, maximizando os problemas ambientais existentes.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa bibliográfica em acervo

disponível nas plataformas digitais da Agência Nacional de Mineração e em legislação oficial acessível em sites do governo brasileiro.

A temática da proposta foi direcionada para assuntos referentes a lavra garimpeira na legislação brasileira, não cabendo a discussão profunda sobre os distintos impactos causados pela usurpação de subsolo, apenas menções em contexto comparativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O regime de permissão de lavra garimpeira demonstra-se como ferramenta de elevado interesse para o desenvolvimento da mineração por meio de mecanismos previstos na legislação minerária. Assim como a agricultura familiar possui parcela significativa no êxito socioeconômico de regiões dependentes desta atividade, o garimpo também pode ter representatividade em localidades nos quais esteja inserido.

A aplicação de técnicas corretas de exploração mineral, associadas com metodologias eficientes de mitigação dos danos ambientais, além da prática consistente de educação e sensibilização ambiental, são de grande valia para que a atividade ocorra em cumprimento as normas vigentes no país.

A lavra garimpeira, necessita, portanto, de padrões similares ao de uma mineração convencional, o que a torna uma de fato, não podendo ser minimizado seu risco operacional, sejam estes ao envolvidos quanto os afetados diretamente. Como ferramenta de inserção, esta possibilita que a partir da existência de substância mineral, cuja viabilidade técnico-econômica seja notória, viabilizando que brasileiros natos e cooperativas possuam usufruir dos meios legais para que a exploração ocorra.

Verificadas e aprovadas os itens essenciais perante a legislação, o empreendimento minerário de lavra garimpeira passará a ter conotação e participação social e econômica na localidade de inserção. Isso será caracterizado pela demanda de insumos e produtos que poderão ser adquiridos; contratação de mão-de-obra especializada ou não, direta ou terceirizada; geração de impostos municipais, estaduais e federal; além da aplicação de diversos programas de ordem socioambiental, tidos como essenciais e que podem gerar no decorrer da operação, conscientização de populares próximos ao empreendimento, tendência de identificação e de associação quanto ás preocupações expressas do empreendedor, entre outros itens descritos na sequência deste projeto.

A lavra garimpeira já é importante ferramenta de desenvolvimento econômico em inúmeras regiões do Brasil, sendo em algumas destas, as únicas referências tangíveis a população local, sobre o que vem a ser mineração. Outrora, dada a importância que esta possui, o endossamento da fiscalização por meio dos agentes públicos e reguladores, é sumariamente necessário para a garantia da execução dos projetos propostos, em nível minerário e ambiental.

Por fim, a legislação brasileira para a lavra garimpeira é relativamente simplista, no

qual o proposito observado para esta inicialmente era o de favorecimento daqueles que necessitam desta para sua sobrevivência. Com o tempo, observou-se a aplicação errônea para fins diversos, em geral, ilicitudes, que contrariamente prejudicam os que atuam dentro das normas vigentes.

REFERÊNCIAS

______. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: 1988**. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acessado em 30 de setembro de 2022.

______. Decreto - Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. **Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas)**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del0227.htm>. Acessado em 01 de outubro de 2022.

______. Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989. **Altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula, e dá outras providências.** Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7805.htm>. Acessado em 01 de outubro de 2022.

______. Lei nº 11.685, de 02 de junho de 2008. **Institui o Estatuto do Garimpeiro e dá outras providências.** Brasília, DF. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11685.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2011.685%2C%20DE%202,Garimpeiro%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAncias.&text=Art.,e%20deveres%20assegurados%20aos%20garimpeiros.>. Acessado em 01 de outubro de 2022.

______. Ordem de Serviço nº 595, de 13 de outubro de 2021**. Retifica a Ordem de Serviço 528/21 e dispõe sobre diretrizes de fiscalização do requerimento e do título de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG), até elaboração de resolução específica para o referido regime de aproveitamento, em linha com as instruções e recomendações dos órgãos de controle. Agência Nacional de Mineração.** Brasília, DF. Disponível em: <https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.php?a cao = abrirTextoAto&link=S&tipo=OSV&numeroAto=00000595&seqAto=INT&valorAno=2021&orgao=ANM/MME&cod_modulo=351&cod_menu=8041>. Acessado em 05 de outubro de 2022.

______. Portaria nº 267, de 10 de julho de 2008. **Altera a Portaria nº 178, de 12 de abril de 2004, que dispõe sobre a permissão de lavra garimpeira.** Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, DF. Disponível em: <https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAtosArvore&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000267&seqAto=000&valorAno=2008&orgao=DNPM/MME&codTipo=&desItem=&desItemFim=&nomeTitulo=&cod_modulo=351&cod_menu=7909>. Acessado em 02 de outubro de 2022.

______. Portaria nº 155, de 12 de maio de 2016. **Aprova a Consolidação Normativa do DNPM e revoga os atos normativos consolidados.** Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, DF. Disponível em: <https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.ph p ? a c a o = a b r i rTextoAto&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000155&seqAto=000&valorAno=2016&orgao=DNPM/MME&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_modulo=351&cod_menu=7909>. Acessado em 02 de outubro de 2022.

______. Resolução ANM nº 68, de 30 de abril de 2021. **Dispõe sobre as regras referentes ao Plano de Fechamento de Mina - PFM e revoga as Normas Reguladoras da Mineração nº 20.4 e nº 20.5, aprovadas pela Portaria DNPM nº 237, de 18 de outubro de 2001.** Agência Nacional de Mineração. Brasília, DF. Disponível em: <https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.ph p?acao=abrirTextoA to&link=S&tipo=RES&numeroAto=00000068&seqAto=000&valorAno=2021&orgao=ANM/MME&cod_modulo=414&cod_menu=7348>. Acessado em 05 de maio de 2023.

LEITE, Amália Lima; FREITAS, Ivna Gomes de; OLIVEIR, Estephano Bessa de; MARINHO, Márcia Thelma R. D. **Atividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense.** XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas: Instituto de Geociências - Unicamp, 2017.

MECHI, Andrea; SANCHES, Djalma Luiz. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo.** São Paulo: Scielo, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TNzjZ3HD8K6rCvSSWPtsZgC/#:~:text=De%20modo%20geral%2C%20a%20minera%C3%A7%C3%A3o,de%20causar%20polui%C3%A7%C3%A3o%20do%20ar%2C>. Acessado em 25 de agosto de 2022.

MILANEZ, Bruno. **Mineração, ambientes e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação.** Brasília: IPEA, 2017. Disponível em: <https://www.ufjf.br/poemas/files/2014/07/Milanez-2017-Minera%C3%A7%C3%A3o-ambiente-e-sociedade.pdf>. Acessado em 26 de agosto de 2022.

CAPÍTULO 7

LA CONTRIBUCIÓN DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL EN GUATEMALA

Data de aceite: 02/08/2023

Flor de Mayo González Miranda
Doctora en Tecnología de Invernaderos, Ingeniería Industrial y Ambiental. Escuela de Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala.

ABSTRACT: This research explores Corporate Social Responsibility in Guatemala, identifies what percentage of Guatemalan companies carry out CSR programs, since the axes are addressed: environment, education, health, poverty reduction. The work of some Guatemalan companies that have done a great job of CSR. In addition, it is documented that there is no specific legislation that directly and clearly regulates CSR and established a relationship between Abraham Maslow's theory of motivation and the motivation of a company to establish a CSR program.
KEYWORDS: Corporate Social Responsibility, Legislation.

RESUMEN: Esta investigación explora la Responsabilidad Social empresarial en Guatemala, identifica qué porcentaje de empresas guatemaltecas ejerce programas de RSE, y a que ejes van dirigidas: medio ambiente, educación, salud, reducción de pobreza, se visualiza el trabajo de algunas empresas guatemaltecas que han realizado una gran labor de RSE. Además se documenta que no hay una legislación específica que regule directa y claramente la RSE y se establece una relación entre la teoría de motivación de Abraham Maslow y la motivación de una empresa para establecer un programa de RSE.
PALABRAS-CLAVE: "Responsabilidad Social Empresarial"; "Legislación"; "Maslow".

1 I ANTECEDENTES

1.1 La Pobreza en Guatemala

Como un dato importante del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo del año 2011, la pobreza en Guatemala es del 90.6%, este grupo de personas sufre algún tipo de privación, y se tiene el mayor porcentaje de desnutrición crónica infantil en América, es del 49.8% y afecta a los niños menores de 5 años.

1.2 Qué es Sostenibilidad y Sustentabilidad.

La primera es satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras, mediante un equilibrio en el uso de recursos, reconociendo que las acciones de unos repercuten en otros, conforme Brundtland en la publicación “Nuestro futuro en común” (Calvente, 2007) y la segunda es avanzar hacia una relación entre economía, ambiente y sociedad. En el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo se han desplegado 17 objetivos del milenio: Fin de la Pobreza, Hambre Cero, Salud y bienestar, Educación de calidad, Igualdad de género, Agua limpia y saneamiento, Energía asequible y no contaminante, Trabajo decente y crecimiento económico, Industria, innovación e infra estructura, Reducción de las desigualdades, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumo responsables, Acción por el clima, Vida submarina, Vida de ecosistemas terrestres, Paz, justicia e instituciones sólidas, Alianza para lograr los objetivos. Ellos comprometen a las personas y a las Empresas a trabajar juntos para lograr los objetivos de sostenibilidad y sustentabilidad.

1.3 Qué es Responsabilidad Social Empresarial y su Concepción

Zaratustra (1,767 AC), fue un filósofo persa que expresó en su libro Gathas los principios sobre la Responsabilidad Social Empresarial, en dicho tratado dice que cada persona debe escoger servir a la sociedad y al mundo viviente, Abreu, Badii (2,006) el segundo concepto encaja de una manera excepcional con la Ecología. Se desconoce la fecha exacta en que las empresas iniciaron con la responsabilidad social empresarial (RSE), como antecedentes, en 1,919 surge la Organización Internacional del Trabajo, (OIT), es el primer organismo especializado vinculado a la Organización de Naciones Unidas (ONU), promoviendo la justicia social, las condiciones laborales, el nivel de vida, la igualdad de género, la seguridad ocupacional y creando, desarrollando y comunicando, programas y políticas encaminadas a dichas mejoras. En 1,971 un grupo de activistas canadienses colocan su pequeña embarcación, obstaculizando pruebas nucleares en el archipiélago de Amchitka, así surge Green Peace, como pilar del medio ambiente (Ámsterdam) y reúne a 55 países.

La RSE forma parte de la visión de una Empresa para hacer negocios con los consumidores finales y otras empresas, con respeto, ética, mejorando la calidad de vida de sus colaboradores y el desarrollo humano en la comunidad en donde opera la Empresa, además de cuidar del medio ambiente conforme una planeación estratégica, independientemente de los productos o servicios que ofrezca, su sector, tamaño y de su nacionalidad.

Otro concepto dice: Es el compromiso de cumplir con los objetivos de la empresa en lo interno y externo bajo tres ejes: económicos, sociales y ambientales (Cajiga 2005).

La RSE constituye un nuevo modo de regulación incipiente del capitalismo global (Solís 2,008) sin modelos teóricos administrativos que le den a la RSE rigor científico y metodológico, se alude a la metáfora de la mano invisible de Adam Smith sobre que, al trabajar una empresa para adquirir una ganancia individual, al mismo tiempo y como consecuencia, satisface las necesidades de la colectividad, al generar empleo. Para que la RSE no contradiga el principio del hombre económico que es la empresa únicamente orientada al lucro, se han tomado en cuenta los costos de transacción: gastos de energía humana, de mercadotecnia, el manejo y obtención de información y el desempeño social corporativo.

En el eje económico interno, las empresas buscan rentabilidad, pagar impuestos, mantener relaciones a largo plazo con proveedores, capacitándolos sobre calidad de materias primas, y tiempos de entrega y con clientes mediante programas de fidelidad.

En el eje económico externo, la Empresa entrega a los clientes productos a precios accesibles, con calidad e innovación, que compitan en el mercado global y superen sus expectativas, o generan servicios que solucionen problemas. En este eje, es vital el desarrollo humano que plantea la RSE, que va desde aportes en educación y salud, hasta incentivos como ayuda a la construcción de casas para los trabajadores, y de allí la incidencia y el poder político que puede llegar a tener una empresa que ha transformado o ha participado en el desarrollo de una comunidad conforme Cancino y Morales (2008)

En cuanto a la honestidad y la Justicia: Reconocer y enmendar errores, puede mejorar la reputación y la imagen pública de la Empresa. Aguilera, Puerto (2,011).

En el eje social interno, la empresa debe ser transparente con Junta Directiva, los inversionistas y financistas, y buscar las opciones económicas mas rentables para consolidar el prestigio y el historial crediticio de la Empresa. Además busca establecer entre los empleados una cadena de servicio al cliente interno, de manera que el trabajo bien realizado de un puesto de trabajo constituya el insumo del siguiente puesto de trabajo, creando un buen ambiente laboral. El favorecer la confianza y el sentido de pertenencia, aumenta la buena disposición y disminuye la rotación (García , 2007).

En el eje social externo, se debe fomentar las gremiales y asociaciones de productores, o de comerciantes, según la especialidad del servicio que prestan, así como la creación del tejido social en las comunidades en donde están emplazadas las empresas, para seleccionar juntos, políticas de mejoramiento y proyectos como mejoras en el alcantarillado, en caminos de acceso, en la introducción de servicios básicos como el agua, la energía eléctrica, internet, telefonía, además de generar empleo y dinero circulante.

A nivel gerencial la RSE es considerada en las Normas: ISO 26000, AA1000, sistema de gestión ética y socialmente responsable, indicadores ETHOS de responsabilidad social empresarial. Duque, Cardona y Rendón (2,013).

En la educación, a las Empresas les interesa tener personal con educación formal, ésta involucra una inversión fuerte en dinero y tiempo, por lo que la capacitación es, una

forma de proveer competencias a los comunitarios que pueden ser de utilidad para las empresas, en oficios que pueden aprenderse en menos de dos años de ejercicio, como lo son: la soldadura, la carpintería, la electrónica, entre otras.

La salud es un indicador del desarrollo humano, permite que los hombres y las mujeres contribuyan con el producto interno bruto de una nación, por lo que detectar enfermedades propias de un lugar, es necesario para proveer de jornadas de salud. Las empresas deben tomar acciones como la creación de clínicas médicas y odontológicas para sus empleados y sus familias.

En el eje ambiental interno, los esfuerzos empiezan por diseñar productos y servicios que sean en lo posible biodegradables y que tengan impactos ambientales negativos bajos. Los embalajes y empaques deben resguardar el producto sin caer en exceso de materiales, y el uso de plástico debe ser cada vez menor y debe diseñarse aleaciones de polímeros que sean biodegradables. Un envase de vidrio puede ser reutilizable, el de pet debe reciclarse para que no impacte negativamente ríos, mares y paisaje. Los residuos generados por las empresas se clasifican en orgánicos e inorgánicos: metal, plástico, papel, vidrio, multicapa, de acuerdo al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2,018).

Al operar, principalmente en la manufactura se generan vertidos, que deben liberarse en el alcantarillado municipal, si no aportan ningún efecto químico o tóxico; o deberán ser tratados, las calderas deben usar filtros antes de que los humos sean expelidos a la atmósfera. La disminución de ruido y vibraciones forma parte de la gestión medioambiental de una empresa, así como la elaboración de planes de riesgo y de contingencia, de seguridad e higiene industrial y de gestión ambiental

En el eje ambiental externo, debe preservarse la fauna, flora y paisaje nativos del lugar, respetar a los grupos étnicos y fomentar la subsistencia de tradiciones culturales.

1.4 Responsabilidad Social Empresarial en Guatemala

La empresa Cementos Progreso S.A. se especializa en fabricación y comercialización de cemento, concreto, cal y otros servicios de construcción, en su RSE destaca Agrobosques (1985) son bosques energéticos manejados racionalmente, proveen de energía limpia por combustión de madera y también incluye la función de aserrío y frutales, en terrenos privados y otros que pertenecen a las comunidades, que contribuyen a la protección de cuencas de ríos y otras fuentes de agua en zonas cercanas a las operaciones de la cementera; Otro aporte es el rescate de especies endémicas, algunas pueden servir de alimentación. La empresa cuenta con dos viveros con alta tecnología proveniente de Suecia y monitoreada por la Universidad Estatal de Nuevo México y la Empresa Microseed, y produce los contenedores y las bolsas para los almácigos. El vivero ubicado en planta San Miguel produce un millón trescientos mil plántulas, para reforestar las cuencas del rio Platanitos y del lago de Atitlán. El vivero ubicado en San Juan Sacatepéquez produce medio millón de

plantas al año, y busca proteger las cuencas del río Xaya Pixcay*á que* abastece la planta de tratamiento Lo de Coy que produce el 39% del agua potable a la Ciudad de Guatemala, con una producción diaria de 140,000 metros cúbicos de agua y es conducido a través de 49 kilómetros de longitud. (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2016). Además se genera empleo. En educación ambiental, se da capacitación en comunidades y escuelas, sobre la necesidad del cuidado de cuencas y la siembra de árboles. Se ha aportado al ecosistema un aproximado de 27 millones de arboles que contribuyen a la fijación de carbono mediante sus troncos y hojas, proveniente principalmente de los arboles jóvenes. Esta empresa usa los bosques de madera de manera sustentable para mantener los hornos de sus cementeras funcionando, disminuyendo el impacto al medio ambiente, pues siembran y utilizan lo necesario.

Debido a la pandemia del Covid 19, los Ingenios guatemaltecos donaron un millón de dólares para equipar un hospital temporal en la costa sur. El Grupo Pantaleón, donó en marzo de 2,020, diez mil galones de alcohol etílico al 70% desnaturalizado para desinfectar áreas hospitalarias. Los centros educativos Pantaleón, son administrados desde el año 2012, por Fundación Pantaleón, en un campus educativo ubicado en Siquinalá del departamento de Escuintla, que egresa bachilleres en Ciencias y Letras, además, Grupo Pantaleón organizó la sexta feria de seguridad, salud y ambiente en Guatemala, con la participación de mil personas en el Gimnasio del Ingenio en noviembre del 2019.

La Fundación Castillo Córdova (1990), provee a la ciudad capital del árbol navideño Gallo, y ha reforestado más de 30 hectáreas de bosque, haciendo que el 30% del gas carbónico que se origina en el fermento de la cerveza, se vuelva a recuperar y a utilizar, la Empresa considera tener un ahorro del 70% en el consumo de agua, gracias a un rediseño de drenajes y almacenamiento de agua, además la instalación de una chimenea ecológica mitiga impurezas de gases y de partículas emitidas por el proceso productivo, limpiando por medio de humedad residual y disminuyendo el efecto invernadero, además la adquisición de maquinaria nueva reduce la velocidad de producción disminuyendo los efectos negativos que la misma pueda causar y reduce el gasto del agua hasta en un 60%.

En Pepsico la RSE contrata a 3200 empleados, generando alianzas estratégicas por 75 años, su proyecto “Orgulloso de ser Agricultor”, de Fundación PepsiCo en alianza con la fundación para erradicar la pobreza, FUNDAP, impacta en el desarrollo de dos mil personas en comunidades agrícolas en la siembra de papa en el departamento de Quetzaltenango, y capacita ciento cincuenta productos con buenas prácticas de agricultura sustentable, además tiene programas de nutrición y salud para 200 familias y el uso del agua por sistemas de goteo y cosechadoras que captan mas de doscientos cincuenta mil metros cúbicos de agua de lluvia. (Mazariegos 2,018).

En Pollo Campero apoyan al 70% de niños que padecen cáncer, los mas de dos mil empleados de la Empresa, logran un recaudo de cuatrocientos mil dólares, que es su meta establecida para la Fundación Ayúdame a Vivir, que cuenta con 600 pacientes activos,

quienes son atendidos con sus familias a nivel psicológico y económico. La Fundación Juan Bautista Gutiérrez desde 1986 tiene un programa de Becas que cuenta con 78 estudiantes universitarios y ha graduado a 56. También lleva a cabo el programa Mi Salud Mi Seguridad, capacitando a 59,000 alumnos por parte de 4,000 maestros en temas de no a las drogas, el alcoholismo y enfermedades de transmisión sexual. Y trabaja el Programa de Formación Nutricional y Emprendimiento Comunitario que beneficia a 180 mujeres en edad fértil embarazadas y durante el período de lactancia, además de atender a 200 niños en las edades comprendidas entre los 0 y los 5 años, que presentan alguna deficiencia nutricional.

La Fundación Cofiño Stahl tiene el proyecto Rescatados en su Propia Tierra, en las Tablas, Chiquimula, logrando superar los 48 casos de desnutrición aguda, también se apoya a jóvenes para estudiar, logrando a la fecha 21 graduados de bachilleres y 112 estudiantes de nivel básico y diversificado, apoyándolos con laboratorios de cómputo y bibliotecas de consulta. Adicionalmente los pobladores cuentan con estufas ahorradoras, agua entubada y filtros para beber el liquido vital, y en términos de emprendimiento han logrado que los pobladores de las Tablas hagan wipe, material de limpieza para talleres mecánicos, abono orgánico de lombricompost, crianza de pollos de engorde y de gallinas ponedoras, pan y tejido.

En 1986, se creó la Fundación Por la Vida, luego llamada Fundación Licorera, que maneja tres ejes: salud preventiva, educación escolar y programas productivos, por lo que 13,800 vecinos y 2,700 familias fueron beneficiadas en Retalhuleu y Mazatenango. En medio ambiente, la empresa tiene una planta de tratamiento con la capacidad de procesar y limpiar 5,300 galones de agua por minuto, se recicla el agua que se usa para lavar la caña y las cenizas de las calderas en tiempo de cosecha, se recicla hasta un 80% del agua utilizada y se da tratamiento a los lodos y lagunas de sedimentación. El Ron Zacapa Centenario es un ron Premium con reconocimiento internacional, producido en Guatemala por Rum Creation and Products, filial de Industrias Licoreras de Guatemala, la botella de dicho ron, tiene una banda tejida con hojas de palmera conocida como petate, que le da la oportunidad laboral a 700 mujeres para confeccionar el tejido de palma, dándoles independencia financiera.

Grupo Ferromax fabrica sus productos con valores ecosteel que es un acero amigable con el medio ambiente, ello contribuye a la reducción de la huella de carbono, su departamento de ingeniería optimiza el acero al producir sus productos con acero de alta resistencia y el uso de más capas de recubrimiento que prolongan la vida útil de los proyectos, además al fabricar productos a la medida disminuyen los desperdicios de un mal corte, en el plano social dan trabajo a más de tres mil colaboradores.

Los refrigeradores y enfriadores fabricados por Grupo Fogel de Guatemala, están diseñados para consumir menos energía, además usan refrigerantes naturales, usan iluminación LED, controles ahorradores de energía y motores electrónicamente conmutados. El aislante de los refrigerantes, está elaborado con poliuretano libre de CFCs

(gases que tienen una gran persistencia en el ambiente), con ciclopentano como agente espumante amigable con el medio ambiente, no afectando la capa de ozono. Fogel ha cambiado el uso de refrigerantes tradicionales HFC como el R-134° y el R-404 considerados como gases de efecto invernadero, por refrigerantes naturales. Fogel cuenta con varios modelos con refrigerante R 290, hidrocarburo con potencial inocuo, que no contribuye al calentamiento global, catalogado como refrigerante verde, otros modelos funcionan con dióxido de carbono como refrigerante. En el 2019, Fogel obtuvo el reconocimiento de Green Development como una empresa de carbono neutro.

1.5 Ley en Guatemala que regula indirectamente la RSE

No hay ninguna ley que regule directa y claramente la Responsabilidad Social Empresarial en Guatemala, existe el Decreto 10-2012 emitido por el Congreso de la República, que en su Artículo 21, incisos 9 y 22, citan lo siguiente: inciso 9; Exenciones de impuestos, como deducibles a la declaración jurada anual de la empresa: “El cincuenta por ciento (50%) del monto que inviertan en la construcción, mantenimiento y funcionamiento de viviendas, escuelas, hospitales, servicios de asistencia médica y salubridad, medicinas, servicios recreativos, culturales y educativos, en beneficio gratuito de los trabajadores y sus familiares que no sean socios de la persona jurídica objeto del impuesto” indica que se debe registrar contablemente y documentar, aclara que en los mismos no debe pagar el trabajador parcial o totalmente. Y el inciso 22: las donaciones comprobables fehacientemente al Estado, Universidades, entidades culturales o científicas, asociaciones y fundaciones sin fines de lucro, de asistencia o servicio social, iglesias, entidades y asociaciones de carácter religioso o partidos políticos, legalmente constituidas, autorizadas e inscritas, conforme a la Ley, y con solvencia fiscal del período, la deducción no puede exceder al 5% de la renta bruta ni de un máximo de 500,000 quetzales anuales.

Por lo que se considera necesario emitir una ley sobre la RSE, que clarifique su ámbito y resuelva una exención de impuestos, lo que permitirá llevar un control macroeconómico sobre el dinero destinado a RSE, y su incidencia en el desarrollo humano.

1.6 La teoría de las necesidades de Abraham Maslow

La teoría mas importante sobre la motivación humana es la Teoría de la Jerarquía de las Necesidades de Abraham Maslow, ideada en 1943, sigue siendo basal y vigente a pesar del transcurso de los años, argumenta que las necesidades humanas forman una pirámide: en la base se encuentran las necesidades mas básicas como lo son alimentación, sueño, aire puro, agua, sexo, salud. Le siguen, las necesidades de seguridad que implican tener un refugio, empleo, familia. En el siguiente escalón de la pirámide se encuentran las necesidades sociales que implican el sentido de afiliación y pertenencia a un grupo social,

amor, afecto, intimidad sexual, amistad. En la siguiente escala se considera, la estima: en donde convergen el reconocimiento de la sociedad, la confianza, el éxito, y; finalmente en la cima piramidal se encuentra la auto realización, ella implica el cumplimiento de metas, y el compromiso con uno mismo de haber cumplido el rol de: por qué vino a la tierra.

1.7 Número y Concentración Geográfica de Empresas en Guatemala

De las 788,313 empresas registradas en Guatemala, están activas un total de 372,779 empresas, de las cuales el 88.73 % son microempresas, el 9.76 son pequeñas empresas, el 1.08 son medianas empresas, el 0.43 % son grandes empresas, además 54,303 son consultores individuales de servicios profesionales, además 361,228 no presentan ingresos o tienen omisos fiscales, según estudio del año 2015. Ubicación: 44.29% en Guatemala, 5.56% en Quetzaltenango, 3.85% en Escuintla, 3.64% en Sacatepéquez, 3.39% en San Marcos,3.13 en Alta Verapaz, 3.11 en Huehuetenango, (Oficina coordinadora sectorial de estadísticas de la micro, pequeña y mediana empresa [OCSE/Mipyme],2017)

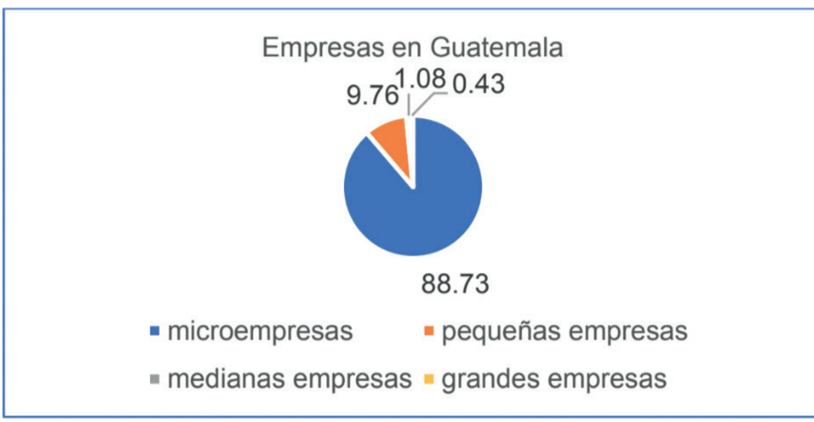


Figura 1. Composición de Empresas en Guatemala

2 I OBJETIVOS

- Identificar que porcentaje de empresas en Guatemala, han implementado una política de Responsabilidad Social Empresarial.
    - Identificar que porcentaje de empresas que cuentan con una política de responsabilidad social empresarial han elegido como eje fundamental ya sea: la educación, la salud, el medio ambiente o la reducción de la pobreza en Guatemala.
    - Identificar si es una motivación importante para las Empresas que tienen RSE la disminución de impuestos, de aranceles u otro tipo de ventaja eco-

nómica, o si la percepción de que el Gobierno de Guatemala no gasta los impuestos de los guatemaltecos en forma transparente.

- Hacer énfasis en la necesidad de la creación de una ley de exenciones que respalde la RSE en Guatemala.
- Hacer notar que alcanzar la autorrealización declarada en la Pirámide de Maslow, por parte de los dueños de las empresas familiares, contribuye a tomar la decisión de implementar un programa de RSE.

3 I METODOLOGÍA

En esta investigación se tomó un grupo de enfoque de 42 Gerentes de primera línea en algunas de las Empresas de Guatemala para que contestaran un cuestionario, con puestos de: Gerente, supervisor, Coordinador, Jefe de procesos, Director de calidad, Ingeniero de Riesgos Senior, Jefatura, Analista de Mercadeo, Técnico, Coordinador Logístico, Gerente de Salud y Seguridad Ocupacional, Supervisor de Distribución Institucional, Ventas, Jefe de área, Jefe de Calidad, Asistente, Planificador de la Demanda, Agente de Servicio al Cliente, Líder de proyectos en costos y presupuestos, Coordinador, Desarrollador de Proyectos, Jefe de cobros legal, Coordinador de Sistemas de Gestión, Geólogo de Campo, Subgerente, Representante de Servicio al cliente, Analista de materia prima, Supervisor, Analista, Agente de Telemarketing, Inspector. Las empresas a las que pertenecen los integrantes del grupo de Enfoque, son las siguientes: Manttra Americas Corp., Uniser S.A., Excel Automotriz, Farmandína, Geociencia Aplicada S.A., Seguros Mapfre, Tc Transcontinental, SigmQ Litozadik, Gauss, Nacional de instaladores S.A., Multividrios, Care Company, Cmi, Comercializados General de Productos, Laboratorio VIDM, La Moderna, Bac Credomatic, Scentia Perfumeria S.A., Dacsa, Uniser S. A., Prosegur/Proval, Fogel, Distribuidora DICSA, Gauss, GENTRAC, Opticas Exclusivas, Telus international, Tigo, FEMSA COCA-COLA, Cervecería Centro Americana, Telus, Gronn, Global Electrónica, Vical, Facenco, Eca Guatemala, Avícola Villalobos, Superingeniería, Global Seguros, Seguros G&T.

Por otra parte, se estableció una comparación entre las empresas y las personas para motivarse, tratando de hallar un símil en el patrón de comportamiento conforme la Teoría de las Necesidades de Abraham Maslow.

4 I RESULTADOS

4.1 Respuestas del grupo objetivo

Conforme lo investigado, el porcentaje de empresas que toman acciones de acuerdo a su política de Responsabilidad Social Empresarial corresponde al 64.3%, mientras el 35.7% no toma acciones al respecto.

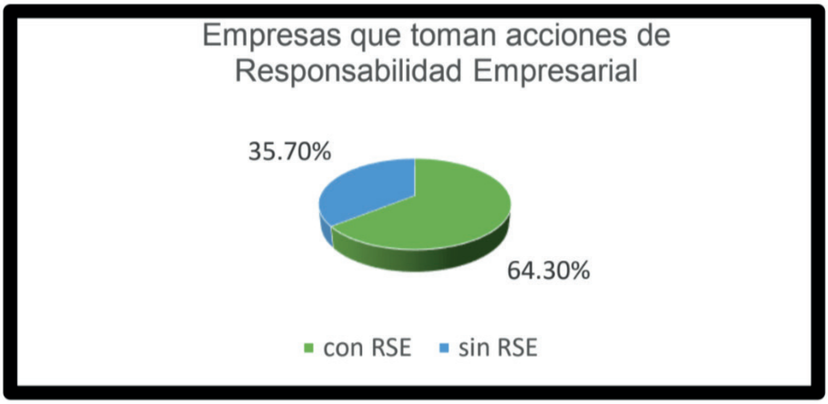


Figura 2. Empresas con RSE

El grupo de enfoque enumer*ó* las siguientes acciones RSE que han realizado sus empresas:

Salud: recolección de residuos bio-infecciosos de forma segura y responsable, apoyo a los bomberos municipales y departamentales, donaciones al ministerio de salud, proyecto de bebida chispuditos para niños de 0 a 6 años de edad, apadrinar a niños desnutridos, servicio médico en la empresa para los trabajadores y familiares, apoyo económico por emergencias, medidas sanitarias , jornadas de salud visual y *médicas para el personal y su familia*, campañas de salud a diferentes sectores, velar por la inocuidad alimentaria, seguridad e higiene industrial.

Medio Ambiente: recolección de aceites usados, tratamiento de aguas residuales previo a la entrega al manto freático, creación de barreras de sonido para eliminar la contaminación auditiva, manejo responsable de desechos y su disminución, uso de vehículos eléctricos, plantas de tratamiento de agua, programa de reciclaje, ecología, programa de reforestación, reforestación de la cuenca del lago de Amatitlán, disminuir la contaminación de los recursos, c*álculo y reducción de huella de carbono e* h*ídric*a, creación de conciencia ambiental, donación de basureros a la comunidad, uso correcto de los desechos de aceite de los transformadores de energía eléctrica cuando se da mantenimiento a los mismos, escuela de linderos con el Instituto T*écnico de* Capacitación (Intecap),

Social: relaciones con proveedores y comunitarios, apoyo a las comunidades, derechos del trabajador (sindicato stecsa), ayuda en áreas de pobreza, bonos, aporte en especie a asilos y orfanatos, aporte a caminos, otorgamiento de créditos de consumo a pymes (pequeñas y medianas empresas), ayuda financiera y económica, oportunidad de empleo, estabilidad laboral, honestidad, transparencia y solidaridad,

Educación: apoyo a escuelas, a niños de escasos recursos, a la educación en aldeas de Izabal, a niños en edad escolar, becas estudiantiles, apadrinar niños en educación, educación a hijos de empleados, apoyo a los trabajadores para graduarse de diversificado,

capacitación de personal de campo, contratación de personal sin nivel académico, bolsa de útiles, bonos por buenas notas, proyecto para construcción de escuelas en áreas rurales, becas para empleados y sus familias, aporte a escuelas, capacitación de educación financiera, programas de educación financiera básica, educación a colaboradores y familiares, donación de libros, aporte para pintar escuelas, compra de escritorios.

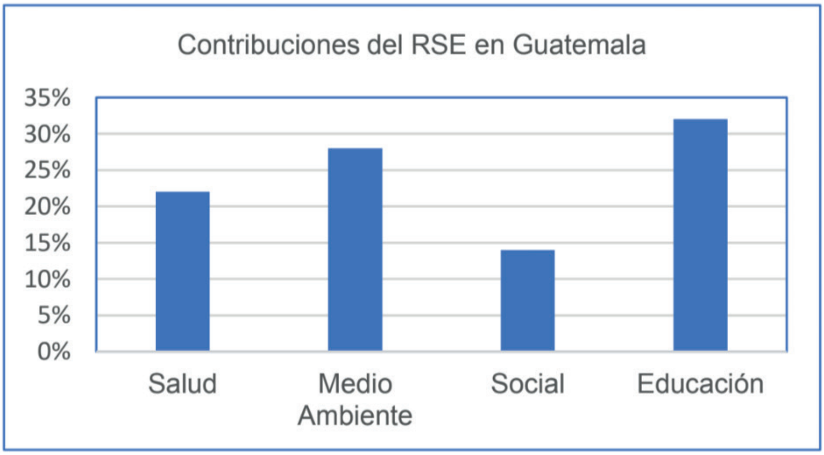


Figura 3. Diferentes Ramas de la Contribución de RSE en Guatemala

A la pregunta si su empresa ha adquirido una exoneración de impuestos por desarrollar una política de RSE, casi la totalidad del grupo de enfoque ha dicho que no, excepción hecha de dos gerentes que mencionaron cada uno por su parte: el decreto 10-2012 y el decreto 117-97, que ha sido sustituido por el anteriormente citado.

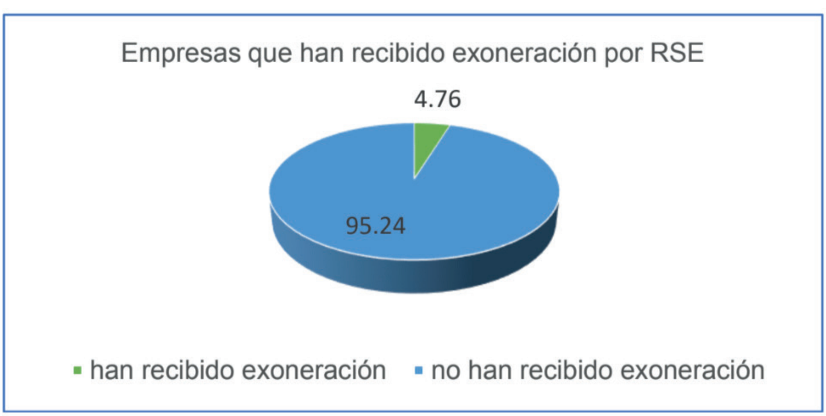


Figura 4. Empresas que han recibido exoneración

Al grupo de enfoque se le hizo la pregunta de si considera que el Gobierno Central gasta los impuestos de los guatemaltecos en forma transparente, el 97.6% de los gerentes y altos directivos de las Empresas dijeron que no y el 2.4% restantes dijeron que si.

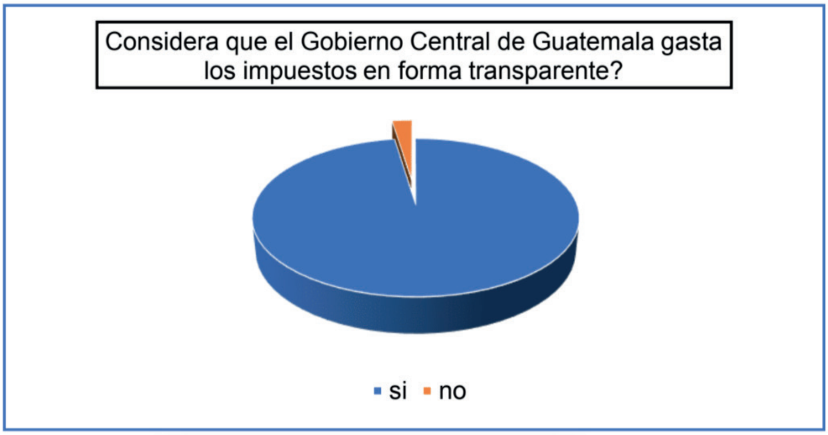


Figura 5. Percepción de transparencia en gasto

4.2 Teoria de Abraham Maslow aplicable a las empresas.

La mayoría de las Empresa han sido de origen familiar, una persona pionera ha iniciado una empresa y el trabajo del resto de los integrantes de la familia la han nutrido, de generación en generación, tal es el caso de las familias: Castillo (Cervecería Centroamericana), Novella (Cementos Progreso), Gutiérrez (Pollo Campero). En lo referente a las empresas se podría pensar que las necesidades básicas y de seguridad y protección se satisfacen cuando se logra generar rentabilidad, pues el objetivo de una empresa es el lucro, y consecuentemente parte de la seguridad lo proporciona la adquisición de bienes a largo plazo como terrenos, edificaciones, maquinaria, equipo y obtener seguridad en el financiamiento. En lo relativo a lo social una empresa necesita tener afiliaciones a largo plazo, por ejemplo concretar una red de proveedores que tengan como objetivo en común la calidad de las materias primas, un conglomerado de empresas que tengan como finalidad abrir mercados, espacios de comunicación, e influir y participar en la toma de decisiones sectorial y gubernamental en los temas que son de su particular interés, y en la temática de la sociabilización de una empresa hay dos componentes importantes: el bienestar y las relaciones con los habitantes de la comunidad en donde está operando la empresa, y el propiciar un adecuado manejo del medio ambiente, entendiendo a la empresa como parte de un todo. En cuanto al reconocimiento, ese mismo que le es dado por la sociedad y el prestigio adquirido por el quehacer de responsabilidad social empresarial, eleva el valor de su marca. Y en la escala piramidal más alta como es la auto realización considero que la Empresa lo logra cuando hay un reconocimiento social hacia el nombre de los dueños de

la Empresa, y logran dejar una huella importante en el colectivo de los habitantes y en la historia del país, en donde operan. Principalmente, porque la mayor parte de las empresas son de origen o de naturaleza familiar, de tal manera, que la trascendencia del apellido, suele ser importante. Las empresas no están constituidas por edificios y bienes de capital meramente, los miembros de la Junta Directiva o dueños de las empresas, pretenden que sus nombres y apellidos trasciendan a través del tiempo en la tierra que los vio nacer, buscando prestigio y trascendencia, el ultimo escalón en la escala de Maslow.

Comunicación alineada con los objetivos de Desarrollo Sostenible



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El 64.30% de las empresas administradas por el grupo de enfoque cuentan con programas de RSE. Conforme la percepción del grupo de enfoque, el gobierno central no es transparente en la ejecución del gasto público. En un país, con una pobreza tan grande, el aporte realizado por las empresas, mediante sus programas de RSE, contribuye a mejorar la calidad de vida de los guatemaltecos, el 95.24% de las Empresas no recibió ninguna ventaja económica de parte del Gobierno por su contribución de RSE, ni en forma de exoneraciones ni descuentos de impuestos o aranceles.

Este trabajo considera que el último escalón de la pirámide de Maslow, que es la autorrealización es una de las motivaciones por las cuales, los propietarios de las empresas han realizado fundaciones y aportes de Responsabilidad Social Empresarial, para dejar una huella indeleble de sus nombres.

Se recomienda plantear una iniciativa de Ley, que clarifique las acciones y ámbitos de la RSE, se reconozca el trabajo de la RSE realizado por las Empresas y se les permita acceder a una disminución de tasas impositivas. El declarar el monto de RSE es necesario, para visibilizar en su conjunto los totales que el sector productivo del país, aportan en programas de RSE y como contribuyen a alcanzar los objetivos del Milenio planteado por la ONU, y a futuro canalizar esos esfuerzos en proyectos que puedan llevar a cabo varios actores de la sociedad, conforme alianzas estratégicas, para mejorar el nivel de vida de los guatemaltecos.

REFERENCIAS

Libros

Cancino Ch., Morales M., (2008). Responsabilidad Social Empresarial. *Serie de Documento Docente Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile*. Volumen 1. 58 páginas. Chile.

Artículos de Revista

Abreu, J.L., Baddi, M.(2006). Análisis del concepto de responsabilidad social empresarial *Daena: International journal of Good conscience*. Volumen *2*. 54-70 México.

Aguilera, A., Puerto, D.(2011). Crecimiento empresarial basado en la Responsabilidad Social. *Pensamiento y Gestión*. No. *32*. 26 páginas. Colombia.

Alea, A. (2007). Responsabilidad social empresarial. Su contribución al desarrollo sostenible. *Revista Futuros* No. 17 volumen 5. 9 páginas. España.

Cajiga, J.(s/a). El concepto de la responsabilidad social empresarial. *Centro Mexicano para la Filantropía*. s/n.35 páginas. México.

Calvente, A. (2007) El concepto moderno de Sustentabilidad. *Sociecología y desarrollo sustentable*. *100-002.* 7 páginas. Argentina.

Cancino Ch., Morales M., (2008). Responsabilidad Social Empresarial. *Serie de Documento Docente Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile*. Volumen 1. 58 páginas. Chile.

Duque Y., Cardona M., Rendón J., (2013).Responsabilidad Social Empresarial: Teorías, Índices, estándares y certificaciones. *Cuadernos de Administración Universidad del Valle*. Volumen 29. Numero 50. páginas 196-206.Colombia.

Pérez R., Espinoza C., Peralta B., (2016) La Responsabilidad Social Empresarial y su enfoque ambiental: Una visión sostenible a futuro. *Revista Universidad y Sociedad*. Universidad Metropolitana. Volumen 8. Número 3.República de Ecuador

Solís J., (2008). Responsabilidad Social Empresarial: Un enfoque Alternativo. *Análisis Económico*. Vol. XXIII. número 53. 27 páginas. Universidad Autónoma Metropolitana. Distrito Federal, México

Formato electrónico

Legislación Guatemala

Guatemala. Decreto Ley 10-2012 de 5 de marzo de 2012, Ley de actualización tributaria. [Internet] Diario de Centroamérica, 5 de marzo de 2012, núm.2 pp.1-24 [consultado 2 de marzo de 2022] Disponible en: https://www.minfin.gob.gt

España. Greenpeace. Historia. [Internet] [Consultado en junio de 2021] disponible en: es.greenpeace.org/es/quiene-somos/historia de Greenpeace

Guatemala. Cementos Progreso. Construcción Sostenible. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.cempro.com/index.php

Guatemala. Cervecería Centroamericana. Responsabilidad Social Empresarial. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: http://cerveceriacentroamericana.com/rse/

Guatemala. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Importancia del manejo de los ríos Xayá y Pixcayá para abastecer el agua potable a la ciudad de Guatemala. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: http://ceur.usac.edu.gt/eventos/Agua-AMCDG/04-Rudy-Vasquez.pdf

Guatemala. Fundación Cofiño Stahl. Nuestros proyectos rescatados en su propia tierra. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://fundacioncofinostahl.com/nuestros-proyectos/rescatados-en-su-propia-tierra/

Guatemala. Grupo Fogel.Refrigeración con responsabilidad. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.fogel-group.com/sostenibilidad/

Guatemala. Ingenio Pantaleón. Desarrollo Responsable.[Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.pantaleon.com

Guatemala. Licores de Guatemala. Responsabilidad Social. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://licoresdeguatemala.com

Guatemala. Ministerio de Economía. Primer boletín estadístico mipyme de Guatemala. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.mineco.gob.gt/ministerio-de-econom%C3%ADa-primer-bolet%C3%ADn-estad%C3%ADstico-mipyme-de-guatemala

Guatemala. Naciones Unidas para el desarrollo. Objetivos de desarrollo sostenible. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html

Guatemala. Organización de Naciones Unidas. Organización Internacional del Trabajo. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://onu.org.gt/onu-en-guatemala/agencias/oit/

Guatemala. Pollo Campero. RSE. [Internet] [Consultado el 30 de octubre de 2021] disponible en https://www.campero.com/gt/rse/19

Guatemala. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Enfoque la Pobreza, reflejo de la exclusión y la inequidad. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/ourwork/povertyreduction/in_depth.html 2011

Guatemala. Prensa Libre. Grupo Ferromax destaca por su ética y práctica de valores. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.prensalibre.com/c-studio/grupo-ferromax-destaca-por-su-etica-y-practica-de-valores/

Guatemala. Quinto Poder Gt. PepsiCo se une a centrarse para potenciar su iniciativa de transformarse para cambiar Guatemala. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://quintopodergt.wordpress.com/2018/06/03/pepsico-se-une-a-centrarse-para-potenciar-su-iniciativa-de-transformarse-para-cambiar-guatemala/

Guatemala. Revista Industria & Negocios. Ene-10 industrias se destacan en responsabilidad social empresarial. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: http://revistaindustria.com/2010/01/ene-10-industrias-se-destacan-en-responsabilidad-social-empresarial/

Guatemala. Ron Zacapa. Las mujeres tejen su camino al éxito con Zacapa. [Internet] [Consultado el 2 de marzo de 2022] disponible en: https://www.prnewswire.com/news-releases/las-mujeres-tejen-su-camino-al-exito-con-zacapa-675959063.html

CAPÍTULO 8

BIODEGRADACIÓN DE DIFERENTES ACEITES POR HONGOS AISLADOS DE SUELOS CONTAMINADOS

Data de aceite: 02/08/2023

Ismael Acosta Rodríguez
Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, México.
Orcid: 0000-0001-8620-2727

Karen Cirina Ruíz Trujillo
Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México.

Adriana Rodríguez Pérez
Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Centro de Investigación y Extensión de la Zona Media.
Cd. Fernández, San Luis Potosí.
Orcid: 0000-0002-6570-6579

Juan Fernando Cárdenas González
Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Centro de Investigación y Extensión de la Zona Media.
Cd. Fernández, San Luis Potosí.
Orcid: 0000-0002-3502-5959

Juana Tovar Oviedo
Laboratorio de Microbiología
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, México.

RESUMEN: Los microorganismos tolerantes a petróleo, desarrollan y utilizan diferentes respuestas especializadas (enzimáticas y fisiológicas) para crecer en presencia de este contaminante. Estas condiciones propician las variaciones poblacionales de los microorganismos autóctonos, y de manera natural realizan la degradación química del petróleo presente en aguas y suelos, por lo que el objetivo de este trabajo fue estudiar la biodegradación de aceite de cocina nuevo, aceite de cocina usado, gasolina nueva Premium, gasolina usada Premium, aceite de transmisión nuevo, aceite de motor usado y petróleo por: *Candida albicans, Aspergillus niger, Paecilomyces* sp. y *Penicillium* sp, utilizando una técnica colorimétrica para la medición de la biodegradación. Esta técnica, basada en la reducción del indicador 2,6 diclorofenol indofenol (DCPIP), encontrando que *Paecilomyces* sp., es el que degrada más eficientemente petróleo (90.7%), *Penicillium* sp., aceite de transmisión automotriz nuevo y aceite de motor usado (86.2 y 60.6%), *Candida albicans*, aceite casero nuevo y usado (79 y 88%), mientras que *Aspergillus niger* fue el más eficiente en biodegradar gasolina Premium nueva y usada, aunque con una eficiencia muy baja (18.5 y 17%).

PALABRAS-CLAVE: Biodegradación, Aceites, Hongos, Contaminación

ABSTRACT: Oil-tolerant microorganisms develop and use different specialized responses (enzymatic and physiological) to grow in the presence of this pollutant. These conditions favor population variations of autochthonous microorganisms, and naturally carry out the chemical degradation of oil present in waters and soils, hence, the aim of this work was to study the biodegradation of oil new kitchen, cooking oil; gasoline new Premium, gasoline used Premium, new transmission oil, used motor oil and petroleum by *Candida albicans, Aspergillus niger, Paecilomyces* sp., and *Penicillium* sp., using a colorimetric technique for measuring biodegradation, based on the reduction of the indicator 2,6 dichlorophenol indophenol (DCPIP), finding that *Paecilomyces* sp., Is more efficiently degrading petroleum (90.7%), *Penicillium* sp., automotive transmission oil new and used motor oil (86.2 and 60.6%), *Candida albicans*, oil home new and used (79 and 88%), while *Aspergillus niger* was the most efficient at biodegrading new and used Premium gasoline, although with very low efficiency (18.5 and 17%).
KEYWORDS: Biodegradation, Oils, Fungi, Contamination

1 I INTRODUCCIÓN

Los derrames de petróleo son una importante fuente de contaminación del suelo y agua, ya que el uso, más el transporte transfronterizo tanto de petróleo crudo como de sus derivados, derrames de contenedores, rupturas en tuberías subterráneas y diferentes procesos industriales, hace que los derrames de hidrocarburos sean cada vez más frecuentes, lo que provoca riesgos asociados a la salud humana por la inhalación de vapores y la ingestión de aquellos hidrocarburos que están disueltos en el agua y el contacto dérmico, que se da principalmente en actividades recreativas, pues algunos de sus componentes son considerados carcinogénicos y teratogénicos [1]. También origina que se desarrolle tolerancia a la presencia de este compuesto, induciendo la selectividad y la disminución de la diversidad microbiana en los diferentes nichos ecológicos contaminados. Los microorganismos tolerantes a petróleo, desarrollan y utilizan diferentes respuestas especializadas (enzimáticas y fisiológicas) para crecer en presencia de este contaminante [2]. Estas condiciones propician las variaciones poblacionales de los microorganismos autóctonos, y de manera natural realizan la degradación química del petróleo presente en aguas y suelos [3]. La mayor preocupación es por los contaminantes de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), asfáltenos y muchos derivados compuestos por 20 o más átomos de carbono, pues no son fácilmente metabolizados por los microorganismos nativos y son considerados un riesgo potencial como carcinógeno y mutagénico [1]. Éstos son usados para la producción de lubricantes automotrices y aceites lubricantes. Y, Comúnmente son desechados sin ningún tipo de tratamiento, y pueden persistir en el ecosistema por más de 6 años y resultan un problema para la biota. Tomando en cuenta que un litro de lubricante logra agotar el oxígeno de 1 000 000 litros de agua [4]. Entre

las soluciones existentes podemos mencionar: El confinamiento, el cual se basa en el aislamiento de las aguas o suelos contaminados, de forma que su objetivo es evitar que se transfiera lateralmente. En este se hace la construcción de barreras como: Barreras de lodo, que son trincheras verticales que se rellenan de lodo, que impermeabiliza el perímetro a aislar, y las barreras químicas, en las que se inyecta bajo el área afectada un producto que impida la dispersión del contaminante. Estas metodologías tienen sus limitaciones, ya que solo evitan la propagación del contaminante y no logran una verdadera remoción [5]. Recientemente, se ha estudiado el aislamiento de microorganismos tolerantes y su capacidad de degradación, a partir de sitios contaminados con el mismo, como la bacterias *Rhodococcus aetherivorans* y *E. wratislaviensis* [6], *Streptomyces* spp [7] y *Pseudomonas aeruginosa* [8], las levaduras *Candida tropicalis* y *Candida albicans* [9, 10] y los hongos filamentosos *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Trichoderma asperellum* [11]. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue analizar la capacidad de biodegradación de diferentes aceites y gasolinas por diferentes hongos

2 I MATERIAL Y MÉTODOS

Muestras de tierra

Se tomaron en recipientes de plástico previamente lavados con ácido sulfúrico al 10% y esterilizados por calor húmedo, muestras de suelo de diferentes suelos contaminados de la Ciudad de San Luis Potosí, México, y se guardaron en hielera, y se trasladaron al laboratorio y se conservaron en refrigeración hasta su uso.

Aislamiento e identificación de las cepas obtenidas

El aislamiento se realizó inoculando 100 μL de las muestras previamente diluidas (1 g de suelo en 9 mL de agua destilada estéril) en cajas de Petri conteniendo medio mínimo de Lee adicionado de agar bacteriológico (20% p/v) [12], sin glucosa y adicionadas de 1.0 mL de petróleo crudo como fuente de carbono, incubando a 28°C durante 7 días. Las colonias obtenidas se purificaron por resiembras sucesivas en el mismo medio de cultivo, y para su posterior identificación, se sembraron por duplicado en Agar Sabouraud Dextrosa, así como la prueba de tubo germinal para la identificación de *C. albicans* [13].

Aceites analizados

1. Aceite nuevo casero
2. Aceite usado casero.
3. Gasolina nueva Premium.
4. Gasolina usada Premium.

5. Aceite de transmisión para automóvil nuevo

6. Aceite de motor de automóvil usado.

7. Petroleo crudo.

Estudios de biodegradabilidad

Éstos se realizaron utilizando una técnica basada en el indicador redox 2.6-dichlorophenol indophenol (DCPIP) [14]. La resistencia se analizó inoculando por duplicado 1 x 10^6 celulas/mL en tubos de ensaye de 12 mL, conteniendo 4.5 mL de medio Bushnell-Hass (BH), 50 µL de cada aceite y gasolina a analizar, y 25 µL de DCPIP a una concentración de 27mg/mL, y se incuban 3 días a 28°C. El medio BH contiene (g/L): $MgSO_4$: 0.2; $CaCl_2$: 0.02; KH_2PO_4: 1.0; K_2HPO_4: 1.0; NH_4NO_3: 1.0; $FeCl_3$: 0.05 [15]. El principio de esta técnica es que durante la oxidación microbiana de los hidrocarburos, los electrones se transfieren a un aceptor de electrones como O_2, nitratos y sulfatos, y al incorporar un aceptor de electrones como el DCPIP al medio de cultivo, es posible analizar la capacidad de los microorganismos para utilizar como sustrato los hidrocarburos, por la observación del cambio de color del DCPIP de azul (oxidado a incoloro (reducido), determinando la absorancia delas muestras en un Espectrofotómetro Uv/Vis a una longitud de onda de 600 nm [14]. Esta técnica se ha utilizado en diferentes trabajos, con resultados satisfactorios [3, 5, 16].

3 I RESULTADOS Y DISCUSION

Se aislaron 3 hongos contaminantes ambientales y una levadura: *Candida albicans*, *Aspergillus niger, Paecilomyces* sp., y *Penicillium* sp, los cuales crecen muy bien con 1 mL de petróleo crudo como fuente de carbono. Con respecto a la capacidad de biodegradación de los diferentes compuestos analizados, se encontró que *Paecilomyces* sp., es el que degrada más eficientemente petróleo (90.7%), *Penicillium* sp., aceite de transmisión automotriz nuevo y aceite de motor usado (86.2 y 60.6%), *C. albicans*, aceite casero nuevo y usado (79 y 88%), mientras que *A. niger* fue el más eficiente en biodegradar gasolina Premium nueva y usada, aunque con una eficiencia muy baja (18.5 y 17%) (Tabla 1, Figura 1), mientras que utilizando una mezcla de los hongos aislados, ésta fue más eficiente en la biodegradación de aceite casero nuevo y usado (61 y 49.5%, respectivamente) (Tabla 2, Figura 2).

MUESTRA	HONGO USADO	% DE BIODEGRADACION
1.1 Aceite casero nuevo	*Cándida albicans*	78.78
2.1 Aceite casero usado	*Cándida albicans*	87.73
3.1 Gasolina Premium nueva	*Aspergillus niger*	18.5
4.1 Gasolina Premium usada	*Aspergillus niger*	17
5.1 Aceite de transmisión nuevo	*Penicillium* sp.	86.2
6.1 Aceite motor usado	*Penicillium* sp.	60.6
7.1 Petróleo	*Paecilomyces* sp.	90.7

Tabla 1.- Porcentaje de degradación de los diferentes aceites analizados por los hongos analizados.



Figura 1.- Biodegradación de las diferentes muestras de aceite por las diferentes cepas utilizadas.

MUESTRA	% DE BIODEGRADACION
1.1 Aceite casero nuevo	61
2.1 Aceite casero usado	49.5
3.1 Gasolina Premium nueva	11.2
4.1 Gasolina Premium usada	11.2
5.1 Aceite de transmisión nuevo	39.8
6.1 Aceite de motor usado	32.5
7.1 Petróleo	1

Tabla 2, Porcentaje de biodegradación de los diferentes sustratos analizados por una mezcla de las diferentes cepas obtenidas.

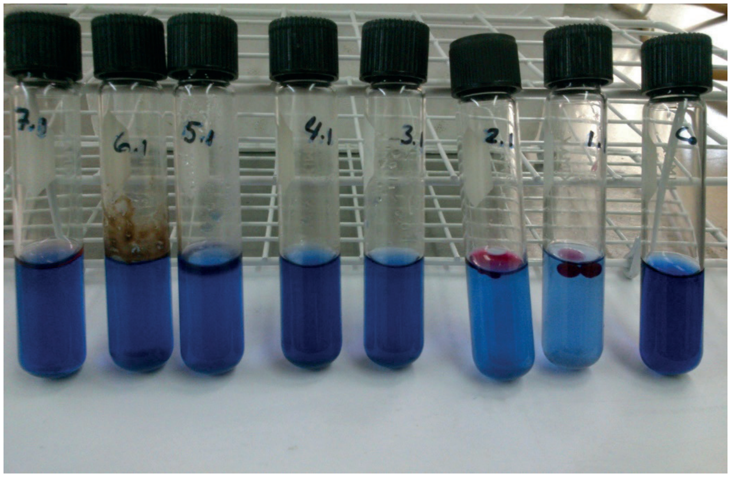


Figura 5. Biodegradación de la diferentes muestras analizadas por una mezcla de las diferentes cepas obtenidas.

Por otro lado, Se ha encontrado que el 96% de bacterias aisladas de medios líquidos (lagos, ríos, y lagunas) presentan capacidad de crecen y emulsificar hidrocarburos derivados del petróleo [3], y los resultados obtenidos en este trabajo, demuestran que las cepas de hongos y levadura aislados, crecen eficientemente en el medio líquido adicionado con 1.0 mL de petróleo crudo, Estos resultados son similares a los obtenidos con las bacterias *R. aetherivorans* y *E. wratislaviensis* [6], con *P. aeruginosa* [8] y con la levadura *C. albicans* [10]. La sobrevivencia en estas condiciones, sugiere que estos hongos podrían tener la capacidad de utilizar hidrocarburos alifáticos y aromáticos como fuentes de carbono y/o donadores de electrones [17]. Por otra parte, los resultados obtenidos fueron muy eficientes, lo que representa un buen avance para considerar esta técnica como una opción para el estudio de la biorremediacion de contaminación por aceites y confirma algunos de los reportes de la literatura con diferentes bacterias, hongos y levaduras [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 y 17].

CONCLUSIONES

Se aislaron 3 hongos contaminantes ambientales y una levadura resistentes a petróleo, con el potencial para degradarlo. Además en presencia de diferentes sustratos como fuente de carbono presentan una gran capacidad de biodegración, por lo que pueden utilizarse para eliminar hidrocarburos presentes en aguas y suelos contaminados.

REFERENCIAS

1. S. Chen y C. Lioao. Health risk assessment on human exposed to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons pollution sources. Sci. Total Environ. 366: 112-123 (2006).

2. M.R. Atlas, A. Horowitz, M. Krichevly y K.A. Bej. Response of microbial population to environmental disturbance. Microbiol. Ecol. 22, 249-256 (1991).

3. A. Pinto Mariano, D. Marcos Bonotto, D. F. de Angelis, M. P. Santos Pirôllo y J. Contiero. Biodegradability of comercial and weathered diesel oils. Braz. J. of Microbiol. 39:133-142 (2008).

4. K.M. Sugiera, M. Ishihara, T. Shimauchi, y S. Harayama. Physicochemical properties and biodegradability of crude oil. Environ. Science Technol. 31: 45-51 (1997).

5. D. Boanares de Souza, G.C. Barbosa Brito, F.C. Wasner Vasconcelos y L.C. Braga. Estudo de microrganismos presentes em uma área contaminada por gasolina comercial. Rev. de estudos ambientais. 12(2): 38-46 (2010).

6. M. Auffret, D. Labbe, C. Thoudand, Ch. W. y F. Fayolle-Guichard. Degradation of a mixture of hydrocarbons, gasoline, and diesel oil additives by *Rhodococcus aetherivorans* and *Rhodococcus wratislaviensis*. Appl. Environ. Microbiol. 5(24): 7774-7782 (2009).

7. I. Saadouni, M. Awawdeh, Z. Jaradat y Q. Ababneh. Growth of *Streptomyces* spp. from hydrocarbon-polluted soil and their analysis for the presence of alkane hydroxylase gene (alkB9 by PCR. World J. Microbiol. Biotechnol. 24: 2191-2198 (2008).

8. J. K. Nduka, L. N. Umeh, I. O. Okerulu, L. N. Umedum y H. N. Okoye. Utilization of Different Microbes in Bioremediation of Hydrocarbon Contaminated Soils Stimulated with Inorganic and Organic Fertilizers. 2(3), J Pet Environ Biotechnol 2012, 3:2. http://dx.doi.org/10.4172/2157- 7463.1000116.

9. S. Farag y N.A. Soliman. Biodegradation of Crude Petroleum Oil and Environmental Pollutants by *Candida tropicalis* Strain. Brazilian Arch. Biol. Technol. 54(4): 821-830, (2011).

10. I. Acosta Rodríguez, M.G. Moctezuma Zárate, J.F. Cárdenas González y J. Tovar Oviedo. Aislamiento e identificación de bacterias y levaduras tolerantes a petróleo. Inv. Tecnol. 22(6): 103-110 (2011).

11. M.C. Rivera Cruz, R. Ferrera Cerrato, V. Volke Haller, R. Rodríguez Vázquez y L. Fernández Linares. Adaptación y selección de microorganismos autóctonos en medios de cultivo enriquecidos con petróleo crudo. Terra. 423-434 (2002).

12. K.L. Lee, H.R. Buckely y C.C. Campbell. An amino acid liquid synthetic medium for the development of mycelial and yeast forms of *Candida albicans*. J. Med. Vet. Micol. 13, 145-153 (1975).

13. R. López Martínez, L.J. Méndez Tovar, F. Hernández y L.R. Castañon. R. Hongos contaminantes comunes en el Laboratorio. En Micología Médica. Procedimientos para el Diagnóstico de Laboratorio. 2ª. Ed. Trillas. pp 137-148. México (2004).

14. K.G. Hanson, J.D. Desai, A.J. Desai. A rapid and simple screening technique for potential crude oil degrading microorganisms. Biotechnol. Tech. 7: 745-748 (1993).

15. Difco Manual. (1984). Detroit: Difco Laboratories.

16. A. Pinto Mariano, D. F. de Angelis, M. P. Santos Pirôllo, J. Contiero y D.M. Bonotto. Investigation about the Efficiency of the Bioaugmentation Technique when Applied to Diesel Oil Contaminated Soils. Braz. Arch. Biol. and Technol. 52(5): 1297-1312 (2009).

17. R. Argumedo-De Lira, A. Alarcón, R. Ferrera-Cerrato y J.J. Peña Cabriales. El género fúngico *Trichoderma* y su relación con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Rev. Int. Cont. Amb. 25 (4), 257-269 (2009). Laboratorio, En Micología Médica. Procedimientos para el diagnóstico de Laboratorio.2ª. Ed. Trillas. pp 137-148. México (2004).

CAPÍTULO 9

MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL SECADO DE QUINUA POR LECHO FLUIDIZADO MEDIANTE LA ECUACION DE EULER

Data de aceite: 02/08/2023

Russel Allidren Lozada Vilca
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0002-8915-3964

Cledi Puma Condori
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0002-5486-773X

Jhon Erik Lima Caceres
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0002-2597-2426

Madelaine Huánuco Calsín
Universidad Nacional del Altiplano. Perú
https://orcid.org/0000-0002-4050-8146

Valeriano Pari Torres
Universidad Continental. Perú
https://orcid.org/0009-0009-4069-2607

Ciro William Taipe Huamán
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0002-6075-5582

Susana Gladis Vilca Achata
Universidad Nacional del Altiplano. Perú
https://orcid.org/0000-0002-9914-6012

Uriel Quispe Mamani
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0001-6101-3671

Yanet Violeta Sucari Sucari
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0003-0547-4136

Jhordy Neffy Benites Cruz
Universidad Nacional de Juliaca. Perú
https://orcid.org/0000-0002-2532-5050

RESUMEN: El presente trabajo se realizó con la finalidad de modelar el proceso de secado de quinua por medio del lecho fluidizado, primeramente se realizó el balance de materia y energía, así obtener una ecuación que nos ayude a predecir la temperatura de salida del producto y del aire, posteriormente se realizó el experimento de manera práctica donde se realiza el secado de quinua, ingresando al secador con un peso de 66.7g de quinua húmeda donde se tuvo una actividad de agua inicial de 12% la cual fue secada a una temperatura de 60°C, Mediante el usó los software de Python y Matlab se obtuvo el análisis de datos para la curva de secado y obtención de calor especifico de la quinua a partir de las tablas peruana de composición de alimentos, después del secado se obtuvo un peso promedio de 42.7g de quinua seca con una actividad de agua de 2.19%, con un rendimiento de 74.95%. La ampliación

en software como Qpython y Matlab junto a los métodos numéricos de la ecuación de Euler ayudaron a predecir la disminución de actividad de agua y peso.
PALABRAS-CLAVE: Humedad, Actividad de agua, Temperatura, Peso, Predicción

MODELING AND SIMULATION OF QUINOA DRYING BY FLUIDIZED BED USING THE EULER EQUATION

ABSTRACT: The present work was carried out with the purpose of modeling the quinoa drying process through the fluidized bed, firstly the balance of matter and energy was carried out, thus obtaining an equation that helps us to predict the outlet temperature of the product and the air, later the experiment was carried out in a practical way where the drying of quinoa is carried out, entering the dryer with a weight of 66.7g of wet quinoa where there was an initial water activity of 12% which was dried at a temperature of 60° C, By using the Python and Matlab software, the data analysis was obtained for the drying curve and obtaining the specific heat of quinoa from the Peruvian food composition tables, after drying an average weight of 42.7g of dry quinoa with a water activity of 2.19%, with a yield of 74.95%. The extension in software such as Qpython and Matlab together with the numerical methods of Euler's equation helped to predict the decrease in water activity and weight.
KEYWORDS: Humidity, Water Activity, Temperature, Weight, Prediction

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es desarrollar un modelo matemático y una simulación numérica que permita simular el comportamiento de la temperatura y la pérdida de humedad (entre otras variables) de la quinua sometidas a un proceso de secado por lecho fluidizado. La energía térmica empleada en este proceso puede proceder de cualquier fuente de calor. El secado es un proceso térmico que se basa en el intercambio de masa (agua) y energía (calor) entre el producto a secar (quinua) y el medio de procesamiento o fluido de secado (aire). Es necesario conocer los mecanismos de transferencia de calor y de masa asociados para poder diseñar un proceso térmico más económico y eficiente. Se partió de las curvas experimentales de la humedad de la quinua respecto al tiempo tomadas. Se estudió la cinética del secado de la quinua para una T de entrada variable, calculando la derivada de la curva de la humedad con el tiempo, es decir, la velocidad de secado que corresponde a cada valor de humedad, para cada temperatura. A partir de las condiciones iniciales (producto con 100% de humedad y temperatura inicial) se calcula la velocidad de secado inicial, y el resto de valores se calcularán resolviendo las ecuaciones asociadas de forma cíclica durante todo el proceso. La velocidad de secado permite calcular la variación de humedad del alga con el tiempo, necesaria para el cálculo de las ecuaciones presentes en los balances de calor y masa, comportamiento de las temperaturas y humedades en cada instante de tiempo, en función de una temperatura de entrada al secador variable. El modelo se simuló numéricamente utilizando la herramienta informática MATLAB®.

Método de Euler es un método de primer orden, es decir, el error local es proporcional

al cuadrado del tamaño del paso y el error global es proporcional al tamaño del paso. El método de Euler a menudo sirve como base para construir métodos más complejos. Considere el problema de calcular la pendiente de una curva desconocida que comienza en un punto dado y satisface una ecuación diferencial dada. Se puede pensar en una ecuación diferencial como una fórmula que nos permite calcular la pendiente de la tangente a una curva en cualquier punto de la curva después de calcular el punto. (Acosta, 2016) El método de Euler consiste en aproximar la derivada por la fórmula de dos puntos.

$$y'(x) \sim \frac{y(x+y)-y(x)}{h} \tag{1}$$

con lo que obtenemos la relación de recurrencia

$$y\,(x + y) = y\,(x) + hf\,(x,\, y) \tag{2}$$

El secado significa eliminar el agua de los materiales de proceso y otras sustancias. El término secado también se usa para eliminar otros líquidos orgánicos como benceno o solventes orgánicos de sólidos. Son equipos utilizados para separar un líquido de un sólido mediante la evaporación. Principalmente es utilizado para reducir o eliminar humedad. En estos equipos la fuente de calor es una corriente de gas caliente. El material para el secado puede estar estático, móvil, fluido o diluido. (Pontiles de Hernandez, 2012). Los secadores se clasifican según las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que está secando. (Pontiles de Hernandez, 2012) Los secadores se clasifican según:

El método de transmisión de calor a los sólidos húmedos

- Secadores directos.
- Secadores indirectos.
- Secadores diversos.

Las características de manejo y las propiedades físicas del material mojado

- Secadores discontinuos o por lote.
- Secadores continuos.
- Secadores para sólidos granulares o rígidos y pastas semisólidas.
- Secadores que pueden aceptar alimentaciones líquidas o suspensiones.

El primer método de clasificación revela las diferencias en el diseño y el funcionamiento de secador, mientras que el segundo es más útil para seleccionar entre un grupo de secadores que se someten a una consideración preliminar en relación con un problema de desecación específico. El objetivo se secar la quinua consiste en prolongar

la vida útil de quinua por reducción de su actividad de agua, el término secado se usa también en referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, tales como benceno o disolventes orgánicos de los materiales de sólidos. En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeños, de una cierta materia, en la evaporación, el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición, el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con el aire. (Cerron, 2013). El secado de alimentos está relacionada con la ley de y los fenómenos de transferencia internos de difusividad liquida, se debe evaluar las propiedades de difusividad efectiva y la energía de activación,(Pantoja et al., 2016), la velocidad de secado se definirá por la difusión de la humedad desde el interior a su capa superficial, que se representa por la segunda ley de Fick para la difusión en estado no estacionario.(Chinenye et al., 2010)

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

- Quinua

Equipos

- Secador de lecho fluidizado
- Balanza analítica

Materiales

- Termómetro
- Recipiente
- Bolsas polietileno

MÉTODOS

Diagrama de proceso

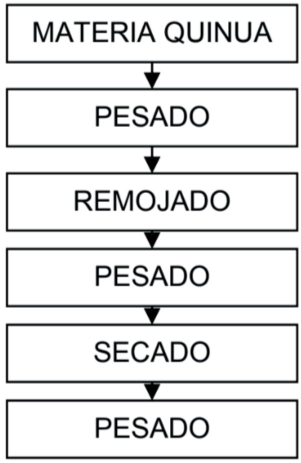


Figura 1. Diagramas de proceso de secado

Balance de masa

La medición basada en el balance de masas permite inferir los niveles de desechos alimentarios al comparar los insumos o entradas con las salidas.

$$\text{Acumulacion} = \text{masas que entran} - \text{masas que salen} \quad (3)$$

Balance de energía

Balance de energía aire: $\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q}_{entrada} - \sum \dot{Q}_{salida}$

$$\frac{dE}{dt} = m_a C_{pa} \frac{dT_a}{dt} \quad \text{.........} \ (5)$$

Entra: $\dot{m}_a C_{p,a} T^p_{a,int}$ .... (6)

Sale: $\left(\dot{m}_a C'_{p,a} T^p_{a,out} + h_c A_p \left(T^p_{a,out} - T^p_{p,out}\right)\right)$ .... (7)

Vamos a agrupar lo que entra al sistema y restarle lo que sale, si sustituimos ambos miembros en el Balance de Energía obtenemos la siguiente expresión:

$$m_a C_{p,a} \frac{dT_a}{dt} = \dot{m}_a C_{p,a} T^p_{a,int} - \left(\dot{m}_a C'_{p,a} T^p_{a,out} + h_c A_p \left(T^p_{a,out} - T^p_{p,out}\right)\right) \quad \text{.........} \ (8)$$

Expresaremos los diferenciales como incrementos:

$$m_a C_{p,a} \frac{dT_a}{dt} = m_a C_{p,a} \frac{T^p_{a,out} - T^{p-1}_{a,out}}{\Delta t} \quad \text{.........} \ (9)$$

Multiplicamos todo por $\frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}}$ para simplificar a ambos lados:

$$\frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} m_a C_{p,a} \frac{T_{a,out}^{p} - T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} = \frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} \dot{m}_a C_{p,a} T_{a,int}^{p} - \frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} \left(\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,out}^{p} + h_c A_p \left(T_{a,out}^{p} - T_{p,out}^{p} \right) \right)$$

$$T_{a,out}^{p} - T_{a,out}^{p-1} = \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^{p} - \frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} \left(\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,out}^{p} + h_c A_p \left(T_{a,out}^{p} - T_{p,out}^{p} \right) \right) \quad \text{.........} (10)$$

Pasaremos todo a la derecha salvo el término que deseamos calcular $T_{a,out}^{p}$ y operaremos:

$$T_{a,out}^{p} = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^{p} - \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,out}^{p} - \frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{a,out}^{p} + \frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{a,out}^{p}$$

Tomamos el 4° miembro de la ecuación y operamos:

$$-\frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{a,out}^{p} = -\frac{\Delta t}{\rho_a \varepsilon V_c C_{p,a}} h_c A_p T_{a,out}^{p} = -\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c A_p}{\rho_a \varepsilon V_c} \frac{V_p}{V_p} T_{a,out}^{p}$$

Simplificando con las relaciones conocidas tenemos:

$$\frac{h_c A_p}{\rho_a \varepsilon V_c} \frac{V_p}{V_p} = \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) \quad \text{.........} (11)$$

Así, el 4º sumando quedaría: $= -\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{a,out}^{p}$

Aplicamos lo mismo para sumando °5 y tendremos lo siguiente

$$+\frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{p,out}^{p} = +\frac{\Delta t}{\rho_a \varepsilon V_c C_{p,a}} h_c A_p T_{p,out}^{p} = +\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c A_p}{\rho_a \varepsilon V_c} \frac{V_p}{V_p} T_{p,out}^{p}$$

$$= +\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^{p}$$

Volviendo a la expresión original, pasamos todos los sumandos multiplicados por $T_{a,out}^{p}$ a la izquierda y sacamos factor común $T_{a,out}^{p}$.

$$T_{a,out}^{p} = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^{p} - \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,out}^{p} - \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{a,out}^{p} + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^{p}$$

$$T_{a,out}^{p} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,out}^{p} + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{a,out}^{p} = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^{p} + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^{p}$$

$$T_{a,out}^{p} \left(\frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) + 1 \right) = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^{p} + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^{p}$$

Multiplicamos la ecuación $\frac{1}{\Delta t}$:

$$\frac{1}{\Delta t}T_{a,out}^{p}\left(\frac{\Delta t}{m_a}\dot{m}_a + \frac{\Delta t}{C_{p,a}}\frac{h_c}{\rho_a \varepsilon}a_p(1-\varepsilon)+1\right) = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a}\,\dot{m}_a T_{a,int}^{p} + \frac{\Delta t}{C_{p,a}}\frac{h_c}{\rho_a \varepsilon}a_p(1-\varepsilon)T_{p,out}^{p}$$

$$T_{a,out}^{p}\left(\frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_a} + \frac{h_c}{C_{p,a}\rho_a \varepsilon}a_p(1-\varepsilon) + \frac{1}{\Delta t}\right) = \frac{T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} + \frac{\dot{m}_a}{m_a}T_{a,int}^{p} + \frac{h_c}{C_{p,a}\rho_a \varepsilon}a_p(1-\varepsilon)T_{p,out}^{p}$$

Despejando $T_{a,out}^{p}$ tenemos:

$$T_{a,out}^{p} = \frac{\frac{T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} + \frac{\dot{m}_a}{m_a}T_{a,int}^{p} + \frac{h_c}{C_{p,a}\rho_a \varepsilon}a_p(1-\varepsilon)T_{p,out}^{p}}{\frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_a} + \frac{h_c}{C_{p,a}\rho_a \varepsilon}a_p(1-\varepsilon) + \frac{1}{\Delta t}} \quad \text{......... (12)}$$

BALANCE DE ENERGÍA PRODUCTO

$$\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q}_{entrada} - \sum \dot{Q}_{salida} = m_p C_{p,p}\frac{dT_p}{dt}$$

Expresaremos los diferenciales como incrementos:

$$m_p C_{p,p}\frac{dT_p}{dt} = m_p C_{p,p}\frac{T_{p,out}^{p} - T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t} \quad \text{......... (13)}$$

Entra:

$$h_c A_p\left(T_{a,out}^{p} - T_{p,out}^{p}\right) \quad \text{......... (14)}$$

Sale:

$$n_{w,out}^{p} A_p h_{fg} \quad \text{......... (15)}$$

Vamos a agrupar lo que entra al sistema y restarle lo que sale, si sustituimos ambos miembros en el Balance de Energía obtenemos la siguiente expresión:

$$m_a C_{p,a}\frac{dT_a}{dt} = h_c A_p\left(T_{a,out}^{p} - T_{p,out}^{p}\right) - n_{w,out}^{p} A_p h_{fg} \quad \text{......... (16)}$$

Multiplicamos todo por $\frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}}$ para simplificar a ambos lados:

$$\frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}}\, m_p C_{p,p}\frac{T_{a,out}^{p} - T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} = \frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}}h_c A_p\left(T_{a,out}^{p} - T_{p,out}^{p}\right) - \frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}}n_{w,out}^{p} h_c A_p h_{fg}$$

$$T_{p,out}^{p} - T_{p,out}^{p-1} = \frac{h_c A_p T_{a,out}^{p}\Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{h_c A_p T_{p,out}^{p}\Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^{p} A_p h_{fg}\Delta t}{m_p C_{p,p}}$$

Pasaremos todo a la derecha salvo el término que deseamos calcular $T_{p,out}^{p}$ y sacamos factor común $T_{p,out}^{p}$:

$$T_{p,out}^{p}+\frac{h_cA_pT_{p,out}^{p}\Delta t}{m_pC_{p,p}}=\frac{h_cA_pT_{a,out}^{p}\Delta t}{m_pC_{p,p}}-\frac{n_{w,out}^{p}A_ph_{fg}\,\Delta t}{m_pC_{p,p}}+T_{p,out}^{p-1}$$

$$T_{p,out}^{p}\left(1+\frac{h_cA_p\Delta t}{m_pC_{p,p}}\right)=\frac{h_cA_pT_{a,out\Delta t}^{p}}{m_pC_{p,p}}-\frac{n_{w,out}^{p}A_ph_{fg}\Delta t}{m_pC_{p,p}}+T_{p,out}^{p-1}$$

Multiplicamos la ecuación $\frac{1}{\Delta t}$:

$$\frac{1}{\Delta t}T_{p,out}^{p}\left(1+\frac{h_cA_p\Delta t}{m_pC_{p,p}}\right)=\frac{1}{\Delta t}\frac{h_cA_pT_{a,out}^{p}\Delta t}{m_pC_{p,p}}-\frac{1}{\Delta t}\frac{n_{w,out}^{p}A_ph_{fg}\,\Delta t}{m_pC_{p,p}}+\frac{1}{\Delta t}T_{p,out}^{p-1}$$

$$T_{p,out}^{p}\left(\frac{1}{\Delta t}+\frac{h_cA_p}{m_pC_{p,p}}\right)=\frac{h_cA_pT_{a,out}^{p}}{m_pC_{p,p}}-\frac{n_{w,out}^{p}A_ph_{fg}}{m_pC_{p,p}}+\frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}$$

Sustituimos $m_p = p_P V_P$

$$T_{p,out}^{p}\left(\frac{1}{\Delta t}+\frac{h_cA_p}{\rho_PV_PC_{p,p}}\right)=\frac{h_cA_pT_{a,out}^{p}}{\rho_PV_PC_{p,p}}-\frac{n_{w,out}^{p}A_ph_{fg}}{\rho_PV_PC_{p,p}}+\frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}$$

Recordamos las siguientes relaciones entre volumen y áreas:

$$\varepsilon=\frac{V_a}{V_c};\quad (1-\varepsilon)=\frac{V_p}{V_c};\quad a_p=\frac{A_p}{V_p}$$

Aplicamos las relaciones con los sumandos y obtendremos:

$$\frac{h_cA_p}{\rho_PV_PC_{p,p}}=\frac{h_ca_p}{\rho_PC_{p,p}}$$

$$\frac{h_cA_pT_{a,out}^{p}}{\rho_PV_PC_{p,p}}=\frac{h_ca_pT_{a,out}^{p}}{\rho_PC_{p,p}}$$

$$\frac{n_{w,out}^{p}A_ph_{fg}}{\rho_PV_PC_{p,p}}=\frac{n_{w,out}^{p}a_ph_{fg}}{\rho_PC_{p,p}}\qquad .... (17)$$

Despejando $T_{p,out}^{p}$ tenemos:

$$T_{p,out}^{p}\left(\frac{1}{\Delta t}+\frac{h_ca_p}{\rho_PC_{p,p}}\right)=\frac{h_ca_pT_{a,out}^{p}}{\rho_PC_{p,p}}-\frac{n_{w,out}^{p}a_ph_{fg}}{\rho_PC_{p,p}}+\frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}$$

$$T_{p,out}^{p}=\frac{\frac{h_ca_pT_{a,out}^{p}}{\rho_PC_{p,p}}-\frac{n_{w,out}^{p}a_ph_{fg}}{\rho_PC_{p,p}}+\frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}}{\frac{1}{\Delta t}+\frac{h_ca_p}{\rho_PC_{p,p}}}\qquad .... (18)$$

Método de Fourier (determinación de calor transferido)

Ley de Fourier en la conducción de calor para una pared plana

$$\dot{Q}cond=-kA\frac{dT}{dx}\qquad .... (19)$$

Aquí dT/dx es el gradiente de temperatura esto es la pendiente de la curva en el diagrama T-x. o sea la razón de cambio de T con respecto a la ubicación x. el calor es la conducido en la dirección de la T de creciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo al crecer x. El signo negativo garantiza que la transferencia de calor en la dirección de x positiva sea una cantidad positiva. El área A de transferencia siempre es normal a la dirección de esa transferencia.

$$\dot{Q}\int_0^L dx = -kA\int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\dot{Q} = -kA\frac{(T_2-T_1)}{L} \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

Para paredes planas

$$Velocidad\ de\ conduccion\ de\ calor = \frac{(Area\ de\ un\ lado)(Diferencia\ de\ temperatura)}{espesor} \quad \ldots\ldots\ldots (21)$$

Donde:

K= conductividad térmica

dT/dx = gradiente de temperatura esto es la pendiente de la curva en el diagrama T = gradiente de temperatura

A = área

L = espesor

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

La humedad se usa para describir la cantidad de agua que tiene los materiales eso sustancias, debido a que la mayoría de los materiales solidos están constituidos de materia seca y agua, se puede establecer que la masa total ms de material es igual a la suma secad ms y de su masa de agua mh2o.

$$m_h = m_s + m_{h2o} \qquad (22)$$

El contenido de humedad se puede expresar de dos maneras contenido de humedad en base seca y contenido de humedad en base húmeda la diferencia radica por ejemplo cunado el valor de Hbs=200% significa que la masa de agua presente en el material es 2 veces su masa seca.

$$H_{bh} = \frac{m_h - m_{sl}}{m_h} = \frac{m_{1(h2o)}}{m_h} \qquad H_{bs} = \frac{m_h - m_{s2}}{m_{s2}} = \frac{m_{2(h2o)}}{m_{s2}} \quad \ldots\ldots\ldots (23)$$

DETERMINACIÓN DE CALOR ESPECIFICO

El calor especifico en términos de su definición como cierta derivada parcial, que es una propiedad termodinámica más que la cantidad relacionada con la transferencia de calor en un proceso especial. De hecho, las derivadas anteriores se definen en cualquier punto

de cualquier proceso cuasi estático tanto si el proceso es a volumen constante o presión constante, calor especifico son empleados son en realidad propiedades termodinámicas de una sustancia y por la definición.

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right) \qquad C_p = m\int_{T_i}^{T_f} Q\, dT$$

$$C_p = \lim_{\Delta T - 0} \frac{Q}{m\Delta T} \quad \text{.........} (24)$$

$$C_p = C_A X_A + C_P X_P + C_G X_G + C_{Ca} X_C a + C_{Ce} X_{Ce} \qquad (25)$$

EFICIENCIA DE SECADO

Eficiencia es uno de los términos más usados en termodinámica e indica que tan bien se realiza un proceso de conversión o transferencia de energía. El desempeño o eficiencia se expresa en términos de la salida deseada y la entrada requerida

$$\eta_{maquina} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q}{HV} \quad \text{.........} (26)$$

MÉTODO DE FICK

La difusividad efectiva se puede determinar mediante la ley de Fick, mediante su fórmula. (Chinenye et al., 2010)

$$MR = \frac{6}{\pi^2}\sum_{1}^{\infty}\frac{1}{n^2} exp\left[-\frac{n^2\pi^2 D_e}{r^2}\right]$$

$$MR = \frac{m_i - m_s}{m_0 - m_s} \quad \text{.........} (27)$$

MR = Relación de humedad

t = Tiempo

D_e = Difusividad efectiva

n = Periodo largo de secado

n=1.(Chinenye et al., 2010)

Difusividad de efectiva: Utilizando la ley de Fick, se determina difusividad mediante para un plano a partir de la ecuación.(Bejarano-Martinez et al., 2019)

$$Y = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{t=1}^{\infty}\frac{1}{(2i+2)^2} exp \quad \text{.........} (28)$$

RESULTADOS

Balance de materia y energía

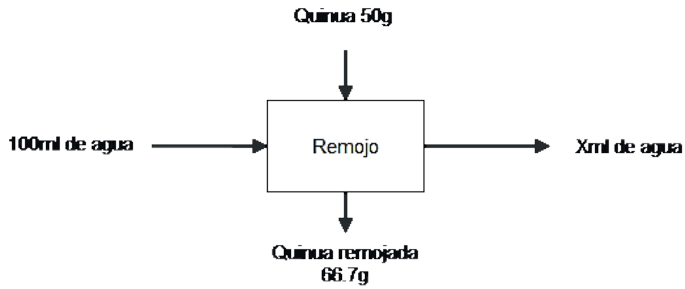


Figura 2. Balance de energía

Balance de materia remojado

$$Acumulado = Entrada - Salida$$

$$m_4 = m_1 + m_2 - m_3$$

$$66.7\ g = 100ml + 50g - m_3$$

$$m_3 = 83.3ml\ de\ agua$$

Donde:

m_1=cantidad de agua que ingresa al flujo

m_2= cantidad de quinua que ingresa

m_3= cantidad de agua que sale

m_4=quinua remojada (remojada)

Figura 3. Balance de materia secado

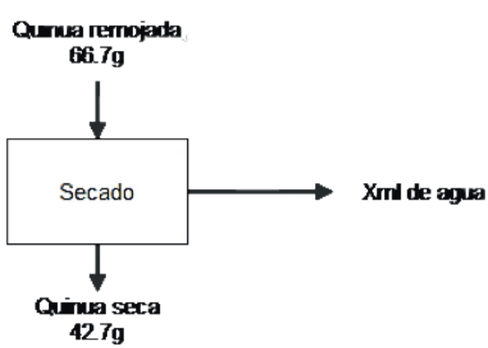


Figura 3. Balance de materia secado

$$Acumulado = Entrada - Salida$$

$$m_6 = m_4 - m_5$$

$$42.7\ g = 66.7g - m_5$$

$$m_5 = 24ml \text{ de vapor agua}$$

Donde:

m_4= quinua remojada (remojada)

m_5= cantidad de agua eliminada mediante vapor

m_6= cantidad de quinua seca obtenida

Balance de energía

Resolviendo $T^{p}_{a,out}$:

$$T^{p}_{a,out} = \frac{\frac{T^{p-1}_{a,out}}{\Delta t} + \frac{\dot{m}_a}{m_a} T^{p}_{a,int} + \frac{h_c}{C_{p,a}\rho_a \varepsilon} a_p (1-\varepsilon) T^{p}_{p,out}}{\frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_a} + \frac{h_c}{C_{p,a}\rho_a \varepsilon} a_p (1-\varepsilon) + \frac{1}{\Delta t}}$$

Datos:

$T^{p-1}_{a,out}$=60°C o 333°K

h_c=773.6498W/m²K

$\dot{m}_a$=0.075Kg/s

$C_{p,a}$=1006.59J/Kg°K

m_a=1.129054*10⁻³Kg

ρ_a=1.129054Kg/m³

ε=0.023m

$(1-\varepsilon)$=33.4829

$$T^{p}_{a,out} = \frac{\frac{333°K}{6s} + \frac{0.075Kg/s}{1.129054*10^{-3}Kg} 333°K + \frac{773.6498W/m^2°K}{\frac{1006.59J}{Kg}°K * \frac{1.129054Kg}{m^3} * 0.023m} 33.4829 T^{p}_{p,out}}{\frac{0.075Kg/s}{1.129054*10^{-3}Kg} + \frac{773.6498W/m^2°K}{\frac{1006.59J}{Kg}°K * \frac{1.129054Kg}{m^3} * 0.023m} 33.4829 + \frac{1}{6s}}$$

$$T^{p}_{a,out} = \frac{22168.9058 + 991 T^{p}_{p,out}}{1057.5909}$$

Resolviendo $T^{p}_{p,out}$

$$T^{p}_{p,out} = \frac{\frac{h_c a_p T^{p}_{a,out}}{\rho_P C_{p,p}} - \frac{n^{p}_{w,out} a_p h_{fg}}{\rho_P C_{p,p}} + \frac{T^{p-1}_{p,out}}{\Delta t}}{\frac{1}{\Delta t} + \frac{h_c a_p}{\rho_P C_{p,p}}}$$

Datos:

$C_{p,p}$=1839.4J/Kg°K

ρ_P=580Kg/m^3

$T^{p-1}_{p,out}$=293°K

$n^p_{w,out}$=1.80437Kg/m^{2}s

a_p=34.483m^{-1}

h_{fg} =2.257*10^{6}J/Kg

$$T^p_{p,out} = \frac{\frac{773.6498W/m^2K34.483m^{-1}T^p_{a,out}}{580Kg/m^3 1839.4J/Kg°K} - \frac{1.80437Kg/m^2s34.483m^{-1}2.257*10^6J/Kg}{580Kg/m^3 1839.4J/Kg°K} + \frac{293°K}{6s}}{\frac{1}{6s} + \frac{34.483m^{-1}2.257*10^6J/Kg}{580Kg/m^3 1839.4J/Kg°K}}$$

$$T^p_{p,out} = \frac{0.025T^p_{a,out} - 13.163 + 48.833}{7.4617}$$

$$T^p_{p,out} = \frac{0.025\frac{22168.9058 + 991T^p_{p,out}}{1057.5909} - 131.63 + 48.833}{73.117} = 296.4°K\ o\ 23°C$$

$$T^p_{a,out} = \frac{22168.9058 + 991 * 296.4}{1057.5909} = 298.69°K\ o\ 25°C$$

RENDIMIENTO DE GRANO

CÓDIGO		NOMBRE DEL ALIMENTO	Energía <ENERC>	Energía <ENERC>	Agua <WATER>	Proteínas <PROCNT>	Grasa total <FAT>	Carbohidratos totales <CHOCDF>	Carbohidratos disponibles <CHOAVL>	Fibra dietaria <FIBTG>
			kcal	kJ	g	g	g	g	g	g
A	60	Quinua rosada (�uno)	356	1490	10,2	12,5	6,4	67,6	61,7	5,9

Cenizas <ASH>	Calcio <CA>	Fósforo <P>	Zinc <ZN>	Hierro <FE>	β caroteno equivalentes totales <CARTBQ>	Vitamina A equivalentes totales <VITA>	Tiamina <THIA>	Riboflavina <RIBF>	Niacina <NIA>	Vitamina C <VITC>	Ácido fólico	Sodio <NA>	Potasio <K>	CÓDIGO	
g	mg	mg	mg	mg	μg	μg	mg	mg	mg	mg	μg	mg	mg		
3,3	124	205	3,30	5,20	•	0	0,24	0,25	1,60	0,00	•	30	776	A	60

Figura 4. Cálculo de cp - Tabla de composición peruana

Secado de quinua mediante lecho fluidizado

Se pesa 50 g de quinua se ata en un filtrante y se sumerge al agua durante 5 min determinación de secado, se pesa la quinua antes y después de su remojo

$$Peso\ (g)\ antes\ de\ su\ remojo = 50\ g$$

$$Peso\ (g)\ despues\ de\ su\ remojo = 68.71\ g$$

Mediante el secador de lecho fluidizado se realiza secado de aire caliente con una temperatura de 50°C con una velocidad de 6m/s de aire caliente del secador obteniendo los siguientes resultados.

Tiempos (min)	Peso (g)
0	66.71
2	59.96
4	51.76
6	46.03
8	45.70
10	45.40
12	42.73

Tabla 1. Disminución de peso según el tiempo

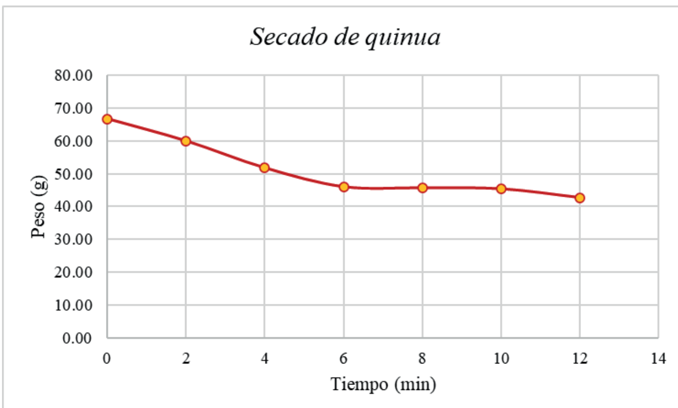


Gráfico 1. Curva de dependencia del peso en quinua

A partir de estos daros se determina la humedad

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Tomando los pesos de lecho fluidizado

Tiempos (min)	Peso (g)	% Humedad	Aw
0	66.71	10.12	0.101
2	59.96	12.29	0.123
4	51.76	5.59	0.056
6	48.03	6.94	0.069
8	43.40	1.11	0.011
10	42.66	2.19	0.022
12	41.20		
		38.24	0.382

Tabla 2. Tabla de datos sobre la perdida de peso y humedad con respecto al tiempo

Entonces se puede la perdida la humedad en cada unidad de tiempo y peso obtenido donde la actividad des de 38.24% y quedando como actividad de agua 0.382

$$\%H = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100 \;\; = \frac{66.71 - 41.20}{66.71} * 100 \;\; = 38.24$$

$$Aw = \frac{\%H}{100} \;\; = \frac{38.24}{100} \;\; 0.382$$

DETERMINACIÓN DE CALOR ESPECIFICO

Para determinar el calor especifico de cada producto se utiliza la siguiente formula

$$C_p = C_A X_A + C_P X_P + C_G X_G + C_{Ca} X_{Ca} + C_{Ce} X_{Ce}$$

Para el caso de secado de quinua el calor especifico es diferente para cada temperatura. Obteniendo los valores iniciales de para secado de quinua se tiene lo siguiente.

Calor especifico (kJ/kg K)					
T°C	Agua	Proteina	Grasa	Carbohidratos	Cenizas
20	4.180	1.711	1.928	1.547	0.908
30	4.172	1.765	1.953	1.586	0.937
40	4.174	1.775	1.981	1.626	0.947
50	4.176	1.842	2.004	1.639	0.976
60	4.179	1.891	2.036	1.691	1.010
70	4.185	1.914	2.062	1.734	1.250
80	4.193	1.942	2.098	1.768	1.045

Tabla 3. Calor especifico de la quinua

Composicion Quinua				
Agua	Proteina	Grasa	Carbohidratos	Cenizas
10.2	12.5	6.4	67.6	3.3

Tabla 4. Composición química de la quinua

Calor especifico (kJ/kg K) Quinua						
T°C	Agua	Proteina	Grasa	Carbohidratos	Cenizas	TOTAL
20	42.636	21.388	12.339	104.577	2.996	183.94
30	42.554	22.063	12.499	107.214	3.092	187.42
40	42.575	22.188	12.678	109.918	3.125	190.48
50	42.595	23.025	12.826	110.796	3.221	192.46
60	42.626	23.638	13.030	114.312	3.333	196.94
70	42.687	23.925	13.197	117.218	4.125	201.15
80	42.769	24.275	13.427	119.517	3.449	203.44

Tabla 5. Calores especifico de la quinua en diferentes temperaturas

CANTIDAD DE CALOR TRANSFERIDO Y ABSORBIDO

En un material de secador por lecho fluidizado con una velocidad de 9 m/s se seca la quinua con una temperatura inicial de 20°C hasta una temperatura de 60°C, disminuyendo su peso desde quinua remojada con 68.71 g llegando hasta un peso de 41.20 g, consideramos el valor promedio de calor especifico de la quinua es 193.69 kj/kg°C.

$$Q = mC_P\Delta T$$
$$Q = (68.71g)\left(\frac{193.69\ kj}{kg°C}\right)(60°C - 20°C)$$
$$Q = (68.71\cancel{g})\left(\frac{\cancel{kg}}{1000\cancel{g}}\right)\left(\frac{193.69\ kj}{\cancel{kg°C}}\right)(40\cancel{°C})$$
$$Q = 532.337596\ kj \quad \text{Calor transferido}$$

Cálculo de eficiencia del secador de lecho fluidizado.

Temperatura inicial de secado 20°C

Temperatura final de secado 60°C

Humedad de grano 38.24%

Actividad de agua 0.382

Velocidad de secado 9 m/s

Aceleración 5m/s2

Radio 9.56 cm

Volumen especifico es de 0.845 m3/kg aire

$$Fuerza = m * a$$
$$Fuerza = 68.71\ g * 5\ m/s$$
$$Fuerza = 68.71\ \cancel{g}\left(\frac{kg}{1000\cancel{g}}\right) * 5\ m/s^2$$
$$Fuerza = 0.34355\ kg\ m/s^2$$
$$Fuerza = 0.34355\ N$$
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$
$$\eta = 1 - \frac{20}{60}$$
$$\eta = 0.667$$
$$\eta = 67\%$$

67% ES EL rendimiento de la maquina y con respecto al error la maquina se puede mejorar. $mejoracion\ de\ maquina = \eta - e$

MÉTODO DE FICK

Masa de agua 41.888

Masa de solidos 89.012

Cuadro de tiempo de secado, peso de la quinua y la humedad

TIEMPO (S)	Peso de Quinua (g)	Humedad Seca (Xw) db
0	130.9	0.32
120	126.3	0.30
240	120.1	0.26
360	112.1	0.21
480	103.2	0.14
540	100.8	0.12

Tabla 6. Tabla de datos de humedad y peso de quinua en el tiempo

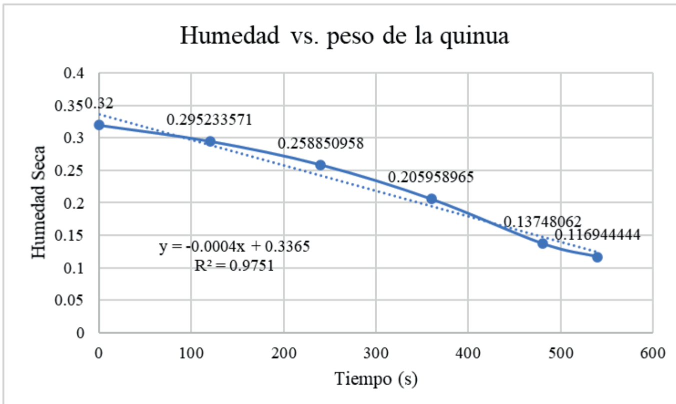


Gráfico 2. Grafica de la humedad y peso de la quinua

Actividad del agua

Humedad relativa= 2.84% $aw = \frac{2.84}{100} = 0.0284$

Cálculo del modelo de gab

Datos:

C	55.942	Wo	0.043
K	1.565	aw	0.0284

$$X_w = \frac{X_{w0} * C * K * a_w}{(1 - K * a_w)(1 + (C - 1)K * a_w)}$$

$$X_w = \frac{1.565 * 55.942 * 0.043 * 0.0284}{(1 - 1.565)(1 + (55.942 - 1)1.565 * 0.0284)}$$

$$X_w = 0.03250$$

Humedad de equilibrio

Tiempo (s)	Peso de Quinua (g)	Humedad Seca (Xw) db	Fuerza impulsora Fi	LN Fi
0	130.9	0.32	1	0
120	126.3	0.30	0.91385375	-0.09008473
240	120.1	0.26	0.78730238	-0.23914289
360	112.1	0.21	0.60332565	-0.50529818
480	103.2	0.14	0.36513417	-1.00749041
540	100.8	0.12	0.29370221	-1.22518892

Tabla 7. Tabla de datos

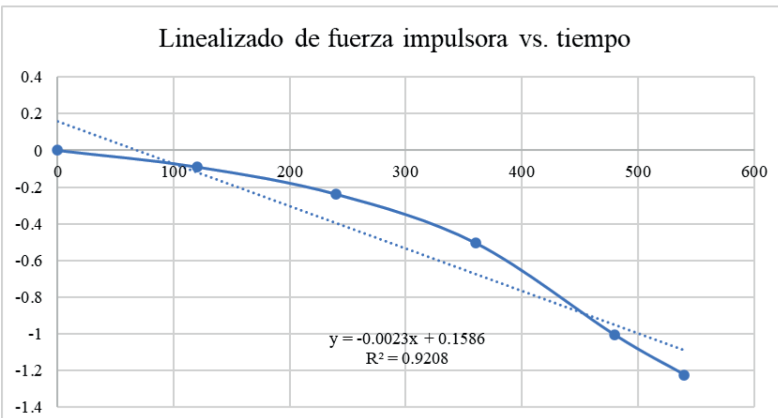


Gráfico 3. Linealización de los datos de fuerza impulsora y tiempo

Datos:

Pendiente 0.0023 Difusividad efectiva -3.64123E-10

Calcular el tiempo de secado:

$$\frac{X - X_1}{X_0 - X_1} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} EXP - (n\pi)^2 \frac{D_e t}{r^2}$$

$$\frac{0.12 - 0.03250}{0.32 - 0.03250} = 0.6079 * \frac{exp(9.8696) - 3.6412^{-10*t}}{0.00125^2}$$

tiempo de secado de la quinua = 300.7793 *seg*

tiempo de secado de la quinua = 5.01 *min*

Rendimiento: % Rendimiento = $\frac{50}{66.71}$ * 100 = 74.9512

EXPERIMENTACIÓN EN MATLAB

La cinética de secado, humedades según el número de instantes que se quieran representar y según la temperatura del aire a la entrada, aunque ahora la estemos considerando constante. De esta forma los cálculos se harán de forma repetida y automática:

```
for i=1:p+1
    %Taire(i)=Toutcol(i);
    Taire(i)=313;
    Talga=Tpini+273;
     %calculo de los coeficientes d1,d2 y d3 en función de la T, para
     poder obtener la expresión de la derivada
    d1(i)=(coefd1(1)*(Taire(i)^2))+(coefd1(2)*Taire(i))+coefd1(3);
    d2(i)=(coefd2(1)*(Taire(i)^2))+(coefd2(2)*Taire(i))+coefd2(3);
    d3(i)=(coefd3(1)*(Taire(i)^2))+(coefd3(2)*Taire(i))+coefd3(3);
    %cálculo de la derivada, para el valor inicial de humedad
    Deriv(1)=(d1(1)*(HUM(1)^2)) + (d2(1)*HUM(1)) + d3(1);
end
    %repetimos tantas veces como indiquemos según valor del instante p
for i=2:p+1
    t(i)=At+t(i-1);
    HUM(i)=(Deriv(i-1)*At)+HUM(i-1);
    Deriv(i)=(d1(i)*(HUM(i)^2)) + (d2(i)*HUM(i)) + d3(i);
end
```

Figura 5. Grafica de Matlab

En función al valor del instante p, podremos calcular los tiempos que se quieran, siempre indicando el número deseado. Se creará a la vez otro vector que será el tiempo, y que durará tantos incrementos Δ□ como tamaño p se especifique en el problema. Este código está integrado en el código final que permite calcular todo lo explicado en bloque.

CONCLUSIONES

El balance de materia se realizó en proceso de secado y remojo con respecto a balance de energía solo se realizó en secado por las condiciones iniciales del proceso, posteriormente se realizó calor especifico de la quinua tomando la composición del alimento en la tabla peruana de alimentos se puedo determinar calor especifico con respecto a diferentes temperaturas de 20 °C a 60°C, se realizó una experimentación de secado de quinua roja en 12 minutos donde se remojo la quinua 50g obteniendo un peso de 66.71g quedando como peso final de secado 42.73 g y la velocidad de secado es de 6 m/s, como resultados de secado se obtuvo la quinua con un porcentaje de humedad 38.24% y dentro de su actividad de agua es de 0.382 posteriormente se determinó la cantidad de calor transferido generado por la secador de lecho fluidizado con un 532.3375 kj entonces se puede predecir que la eficiencia de la maquina es de 67% menos el error obtenido se determinó el porcentaje que aún se puede mejorar en la máquina de secador de lecho fluidizado dejando un rendimiento 74% con respecto a su masa y finalmente se realizó la cinética de secado en macro Excel, Python y Matlab.

DISCUSIONES

Según (Miranda, 2007) se puede obtener soluciones de las ecuaciones que modelan el comportamiento de un secador solar y determinar el valor de las temperaturas que intervienen, para nuestro trabajo también se pudo predecir la temperatura de entrada y salida para el secado en lecho fluidizado.

La investigación realizada por (et al., 2018) que la manzana incrementaba su temperatura en un orden de 7°C lo que hace que se emplee una energía adicional a la solar, se presenta una energía de activación de 32.11KJ/mol, los parámetros para determinar la perdida de humedad se establecieron a las temperaturas de 30 a 50°, mientras que en nuestro trabajo no se requirió de la adición de energía adicional para el secado.

En el trabajo realizado por (Jerez Ortiz, 2014) nos indica que la eliminación por convección forzada y por convección natural le dieron contenidos de humedad con los valores de 2.4% y 76.1% en 5 horas de secado, en el trabajo realizado se obtuvo una humedad del 38.24%.

Según (Minniti & Viglione Lara, 2016) Se encontró que existe una contracción volumétrica y una disminución de la densidad de los granos conforme aumenta el tiempo de secado. Las curvas de secado se ajustaron a un modelo matemático T60°C R2= 0,996 y se calcularon los parámetros cinéticos. Mediante la ley de Fick, se encontró el valor de la difusividad efectiva de agua T60°C, Def = 1,52x10^10 m2/s, el contenido de humedad se reduce exponencialmente con el tiempo de secado según comportamiento típico de materiales, el modelo teórico desarrollado presenta buen ajuste para bajos contenidos de humedad.En nuestro estudio se ha demostrado que a una temperatura de 60°C los ajustes de R=0.9208, y la difusividad efectiva de agua T60°C, Def = -3.64123x10^-10 de acuerdo a otros autores encontrados los valores obtenidos tienen similitud por la cual se llega a una conclusión de secador de lecho fluidizado reduce el contenido de humedad y resultan de gran utilidad en el proceso de secado conservación y posterior utilización del grano.

REFERENCIAS

Ananias, r. A., & keey, r. B. (2020). Transferencia de calor. *Teoria Del Secado*, 75–99. https://doi.org/10.22320/978-956-9275-85-2_4

Cerron, F. G. (2013). *Efectos de Temperatura y Tiempo en el desamargado y secado de Quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. 1–134. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2672/Cerron Mercado.pdf?sequence=1

Michelis, A., & Ohaco, E. (2012). Definiciones y algunos conceptos básicos. *DESHIDRATACION Y DESECADO DE FRUTAS, HORTALIZAS Y HONGOS. Procedimientos Hogareños y Comerciales de Pequeña Escala*, 6–7.

Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauza, J. C., & Aguilar, C. N. (2013). TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.). *BIOtecnia*, *15*(2), 39. https://doi.org/10.18633/bt.v15i2.148

Physalis, U., With, L., & Dehydration, O. (2005). LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMO PRETRATAMIENTO EN LA CONSERVACIÓN DE MORA (Rubus glaucus) Y UCHUVA (Physalis peruviana L.) PRETREATMENT IN THE CONSERVATION OF BLACKBERRY (Rubus glaucus) AND UCHUVA (Physalis peruviana L.) WITH OSMOTIC DEHYDRATION. *Vitae*, *12*(1), 15–22.

Michelis, A., & Ohaco, E. (2012). Definiciones y algunos conceptos básicos. *DESHIDRATACION Y DESECADO DE FRUTAS, HORTALIZAS Y HONGOS. Procedimientos Hogareños y Comerciales de Pequeña Escala*, 6–7. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf

Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauza, J. C., & Aguilar, C. N. (2013). TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.). *BIOtecnia*, *15*(2), 39. https://doi.org/10.18633/bt.v15i2.148

Physalis, U., With, L., & Dehydration, O. (2005). LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMO PRETRATAMIENTO EN LA CONSERVACIÓN DE MORA (Rubus glaucus) Y UCHUVA (Physalis peruviana L.) PRETREATMENT IN THE CONSERVATION OF BLACKBERRY (Rubus glaucus) AND UCHUVA (Physalis peruviana L.) WITH OSMOTIC DEHYDRATION. *Vitae*, *12*(1), 15–22. http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v12n1/v12n1a02.pdf

Minniti, A. C., & Viglione Lara, M. (2016). *Modelado y simulación de la operación de secado de material vegetal mediante la tecnología de lecho fluidizado*.

UTILIZACIÓN DE RESIDUOS NO CONVENCIONALES EN LA SUPLEMENTACIÓN DE ALIMENTOS PARA GANADO BOVINO

Data de aceite: 02/08/2023

Diana Isis Llanes Gil López
Instituto Tecnológico de Altamira.
Tecnológico Nacional de México.
Altamira, Tamaulipas

María Elena Sánchez Pardo
Instituto Politécnico Nacional, ENCB-Zacatenco, México

Elvia Margarita Romero Treviño
Instituto Tecnológico de Altamira.
Tecnológico Nacional de México.
Altamira, Tamaulipas

Jorge Aurelio Lois Correa†

Jorge Hiram García Garcia
Instituto Tecnológico de Altamira.
Tecnológico Nacional de México.
Altamira, Tamaulipas

RESUMEN: La alimentación animal representa uno de los gastos más elevados en la producción pecuaria, significando más del 60% del gasto total, siendo el contenido proteico de un alimento una de las principales variables a tomar en cuenta, en este sentido se presenta el desarrollo de un alimento base pre-digerido a partir de los componentes fibrosos de la caña, para ganado bovino, con una granulometría tipo harina acompañado de una adecuada suplementación proteica, con la finalidad de incrementar la digestibilidad del componente fibroso del alimento (lignina, hemicelulosa y celulosa) se implementó un tratamiento químico alcalino a base de hidróxido de sodio (2 N), para detener la reacción alcalina y enriquecer proteicamente se le aplicó miel+urea al 2.0%. En la formulación fueron utilizados cereales como insumos energéticos y arbustos forrajeros. En otra formulación, se suplementó proteicamente con un subproducto de la producción de la enzima Transglutaminasa. Las formulaciones obtenidas fueron evaluadas física y químicamente además de evaluar la digestibilidad *in vitro,* así como parámetros bromatológicos.

INTRODUCCIÓN

Teniendo de panorama a los grandes problemas de contaminación que experimenta México, surgen como alternativas, las tecnologías verdes y, dentro de estas, se encuentra el aprovechamiento de uno de los cultivos más promisorios del

siglo XXI. De acuerdo con cifras del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (Conadesuca), el 28 de julio de 2021 concluyó la molienda de caña de los 49 ingenios que se encuentran en el territorio mexicano, con lo cual la producción nacional de azúcar refinada alcanzó 1 348 267 toneladas (Pag. Electrónica Gob 2022); aunado a esto en México tenemos un problema de desnutrición importante. De acuerdo con los datos del INEGI, en México mueren cada año aproximadamente 8500 personas a causa de la desnutrición. México es un país en el que se padece hambre. Al respecto la ONU propuso una agenda del desarrollo sostenible para paliar los problemas mundiales más apremiantes. Por lo que este proyecto está alineado a 4 de los 17 objetivos de la agenda 2030 de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU México; 1: fin de la pobreza, 2: Hambre, 6: Agua limpia y saneamiento y 12: Producción y consumo responsable. Ya que, al utilizar el bagazo, un residuo agroindustrial de la caña de azúcar, como materia prima, se disminuye tanto el costo del alimento así como la contaminación ambiental generando un coproducto de valor agregado.

Cabe destacar que la alimentación es el factor que más afecta a la producción de carne de cualquier hato, debido a que se estima en un 75% del costo total de la producción; (García-Contreras AC, 2012).

En la búsqueda de alternativas económicas y técnicamente viables, se buscó dar un aprovechamiento al bagazo de caña de azúcar, así como un residuo de la producción de transglutaminasa microbiana. La Transglutaminasa (R-glutaminil-péptido γ-glutaminil-transferasa) es una enzima que cataliza las reacciones de entrecruzamiento de los grupos γ-carboxiamida de los residuos de glutamina y los grupos ε-amino de los residuos de lisina.

Algo relevante a mencionar es la relación entre el tamaño de partículas y la digestibilidad del alimento; como ejemplo, se puede citar lo que ocurre con las harinas de subproductos avícolas o cárnicos mal molidos en los que se ha podido determinar una disminución en la digestibilidad del alimento. En este sentido la *American Feed Control Officials* recomienda 100 % de paso en criba No. 7 (USA) y 95% de paso en criba (USA) No. 10 (ref 32), como factores a tener en cuenta en la selección de molinos y cribas.

Esta enzima se utiliza en la tecnología de alimentos para reestructurar los enlaces proteicos de productos cárnicos, lácteos y pescados, por lo que es considerada un eficiente aditivo de unión de proteínas. La Transglutaminasa (TGasa) se ha encontrado en una gran variedad de organismos eucariotas, desempeñando un papel fundamental en las reacciones de coagulación de la sangre, y se ha identificado en la cascada de coagulación como el factor XIII. Sin embargo, TGasa se ha obtenido también de microorganismos del género *Streptoverticillium*, la cual tiene la ventaja de ser Ca+ independiente. Entre las especies de este género, *Streptoverticillium ladakanum* es el mejor productor de la enzima (Nonaka y col., 1989). La transglutaminasa microbiana puede unir proteínas, por lo que se usa para mejorar la textura, la palatabilidad y la vida útil de los alimentos.

Las proteínas no solo son nutrientes muy importantes, sino que también desempeñan un papel importante como ingredientes que contribuyen en gran medida a las propiedades químicas de los alimentos.

En las últimas décadas, debido a la preocupación por la escasez mundial de alimentos como resultado del crecimiento de la población, ha habido un creciente interés en el uso avanzado de proteínas alimentarias, tal es el caso de la transglutaminasa microbiana

METODOLOGÍA

Debido a la composición física heterogénea del bagazo, se realizó un cribado dirigido a disponer de un material granulométricamente homogéneo; en este sentido, se optó por cribar el bagazo en malla de 0.5 mm de luz equivalente a un tamiz 32 Tyler.

La *American Feed Control Officials* recomienda 100 % de paso en criba No. 7 (USA) y 95% de paso en criba (USA) No. 10 (ref 32), como factores a tener en cuenta en la selección de molinos y cribas.

Para la obtención del subproducto de transglutaminasa, se utiliza glucosa obtenida de harina de sorgo la cual pasa por dos procesos: Hidrólisis enzimática con amilasa y α-amilasa y centrifugación para separar la glucosa del resto de los componentes de la harina.

El subproducto derivado de esa producción, contiene una alta concentración de proteínas, considerándose por tanto un buen suplemento para alimento animal

Posteriormente el bagazo de caña de azúcar fue sometido a un pretratamiento alcalino a una concentración 2 N de hidróxido de sodio asistido por microondas utilizando una potencia de 700 W por un lapso de 3.5 min. Se aplicó un tratamiento sumergido, se colocaron muestras de 10 g en una relación 1:2 muestra/ solución (75 ml NaOH al 2N) y se sometió al tratamiento por microondas (800W/3.5 min). Para detener la reacción alcalina y enriquecer proteicamente, se le aplicó miel+urea al 2.0%. posteriormente se filtró el experimento y se lavaron las fibras hasta obtener un pH neutro. Dichas fibras se clasificaron después del tratamiento para la caracterización física de las fibras integrales, y post-tratamiento se empleó Microscopía con focal con barrido laser.

Para la formulación de los alimentos se utilizó el software CONFOR 2010. Se realizó el análisis proximal para conocer la composición química, determinando el contenido de materia seca (MS), cenizas (CE), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) (AOAC, 1995), extracto etéreo (EE) (NMX, s.f.).

Para la determinación de la digestibilidad la muestra de líquido ruminal de bovino fue donada por la Escuela Nacional de Posgraduados de la Ciudad de Texcoco. Este procedimiento es tomado de la técnica de dos etapas Tilley y Terry (1963).

RESULTADOS

Se realizaron análisis químico proximal del subproducto de transglutaminasa obteniéndose; proteína cruda 11.09 g/100 g base seca, humedad 7.4 g/100 g, materia seca 95.5 g/100 g y cenizas 1.73 g/100 g.

Se realizó un experimento in vitro donde se simuló el tratamiento alcalino con NaOH bajo las mismas condiciones utilizadas para realizar el alimento base. En la Figura 1 se observa una secuencia de imágenes de dicho experimento, tomadas en lapsos de tiempo de 60 seg; en las que, la primera imagen, representa el bagazo inicial; las imágenes de la 1-9 representan el tratamiento alcalino; y, en la imagen 11, la aplicación de la solución de miel+urea+sal; en las imágenes 1-10, se puede observar cómo la fluorescencia aumenta conforme se va exponiendo la lignina por la ruptura de los enlaces, partir de la aplicación de la solución antes mencionada.

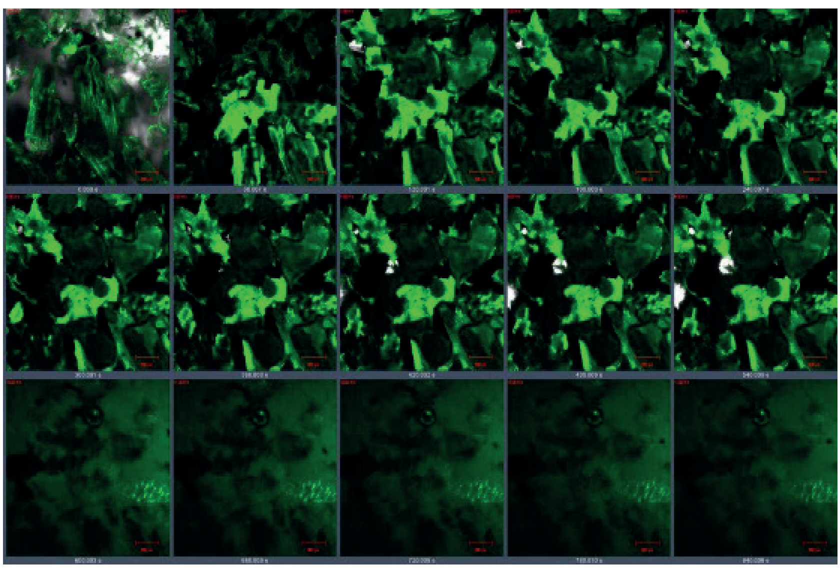


Figura 1. Experimento *in vitro* por MCBL, simulación de tratamiento alcalino.

En comparación con la digestibilidad promedio del zacate Buffel se puede apreciar una digestibilidad mayor en el alimento final **BPS**, esto debido a la acción de delignificación del pre-tratamiento químico sobre la fibra, lo cual posiciona a la formulación como un buen suplemento alimenticio con digestibilidad incrementada para ganado bovino (Cuadro 1).

MUESTRA	%DIVMS
Bagazo integral	32.04 ± 1
Bagazo integral predigerido (BP) (con NaOH)	60.33 ± 0.83
Bagazo predigerido suplementado (BPS) (Dieta realizada en software Confort	72.30 ± 0.37
Pasto Buffel	56% ± 1

Cuadro 1. Resultados de Digestibilidad *in vitro*.

En cuanto el análisis bromatológico se puede observar un incremento en el contenido de proteína y cenizas en el bagazo predigerido y suplementado en comparación del bagazo integral, lo cual demuestra una adecuada suplementación proteica con residuos de transglutaminasa microbiana, también se observa una disminución en el contenido de fibra detergente acida y de lignina producto del tratamiento alcalino (Cuadro 2).

Muestra g/100 g	**Hum**	**MS**	**PC**	**Cenizas**	**EE**	**FC**	**ELN**	**FDA**	**LDA lignina**
Bagazo Integral	7.4	92.5	4.2	4	1.7	80.7	2	63.89	25.36
Bagazo predigerido (BP)	8.7	91.2	6.1	7.8	1.8	46.0	29.4	50.22	13.23
Bagazo predigerido y suplementado (BPS)	20.9	79.0	18.8	6.9	3.7	37.8	12	---	---

Cuadro 2. Resultados de análisis bromatológico de bagazo de caña integral y alimentos formulados.

DISCUSIÓN

De acuerdo a lo reportado con Molavian, 2020 *et al* el bagazo de caña de azúcar tiene más del 80 % de FDN y 3,0 % de proteína, en la presente investigación se logró un aumento nutricional de este residuo agroindustrial ya que se obtuvo un aumento de 3 % en proteína en el bagazo predigerido (BP) y un aumento de 15 % de proteína en comparación del alimento final (BPS).

Por su parte el alimento final BPS, obtuvo valores similares a los reportados por Saez et al 1992 en el alimento BAGARIP donde obtuvo materia seca (de 25 a más de 85%), cenizas (4 a 12%), proteína bruta (10 a 22%), proteína verdadera (7 a 22%) yfibra bruta (7 a 22%).

CONCLUSIONES

La presente investigación, por tanto, está dirigida a contribuir a aliviar uno de los

problemas más apremiantes que enfrenta el sector agropecuario mexicano, la producción de un alimento animal para engorde de ganado bovino en condiciones técnicas y económicamente viables.

La selección del tratamiento alcalino, en base a una solución de hidróxido de sodio a una concentración 2.0 Normal durante un tiempo de retención de 10 minutos, resultó acertada al lograrse la pre-digestión del componente fibroso del bagazo mediante la ruptura de los enlaces de lignina.

En los estudios morfológicos realizados se aprecian los cambios experimentados en las fibras del bagazo y la ruptura de enlaces de la lignina. En los resultados obtenidos por la técnica de MCBL, se pudo determinar la fragmentación del material fibroso como resultado de la reacción al agente alcalino al ser comparado con la imagen perteneciente al bagazo integral sin tratamiento. Este aspecto se corroboró en las micrografías tomadas por MEB en las que, se pudo observar la fragmentación comparativa registrada en las fibras como reacción al agente alcalino al contrastarse con la imagen perteneciente al bagazo integral sin tratamiento.

REFERENCIAS

1. AOAC. (1995). Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemist (990.21, Solid-Not-Fat in Milk).

2. Carlos G. Germán Alarcón, J. C. (2005). Producción de cerdos. México: Colegio de post graduados. García-Contreras AC, D. L. (2012). Feeding practices for pigs. Obtenido de Revista Complutense de Ciencias Veterinarias: anas/NM

3. Aguilar-Zarate, P., Aguilar-Zárate, M., Carrillo, M., Portilla-Rivera, O. (2012). Importancia de la producción de transglutaminasa microbiana para su aplicación en alimentos. Acta Química Mexicana. 4.

4. Manohar Rao, P.J. (1997). Industrial utilization of sugar cane and its co-products, ISPCK Publishers and distributors, Delhi, India, p. 232, ISBN: 81-7525-017-8.

5. ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar). (1988). Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Serie Diversificación, GEPLACEA – PNUD.

6. Jagdish C. Tewari (2007). *In situ* laboratory analysis of sucrose in sugarcane bagasse using attenuated total reflectance spectroscopy and chemometrics. International Journal of Food Science & Technology. Volume 42, Issue 2.

7. Importancia de la producción de transglutaminasa microbiana para su aplicación en alimentos. Available from: https://www.researchgate.net/publication/242330068_importancia_de_la_produccion_de_transglutaminasa_microbiana_para_su_aplicacion_en_alimentos [accessed Feb 27 2022].

8. https://www.gob.mx/agricultura/prensa/concluye-con-crecimiento-produccion-de-cana-y-azucar-de-la-zafra-2020-2021 agricultura?idiom=es#:~:text=De%20acuerdo%20con%20cifras%20 del,mill%C3%B3n%20348%20mil%20267%20toneladas.

9. http://www.engormix.com/MA-balanceados/fabricacion/articulos/plantas-de-rendering- t3272/801-p0.htm>

10. Sáez, Silvio J., Pedraza Olivera, R., Ramos-Sánchez, L., Crespo Zafra, L. M. (1992). Bagazo rico en proteína (BAGARIP): alimento para animales obtenidos por FES de derivados de la caña de azúcar. *Bagazo rico en proteína (BAGARIP): alimento para animales obtenidos por FES de derivados de la caña de azúcar*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/331994470_Bagazo_rico_en_proteina_BAGARIP_alimento_para_animales_obtenidos_por_FES_de_derivados_de_la_cana_de_azucar [accessed Jun 30 2022].

11. M. Molavian, GR Ghorbani, H Rafiee, K A Beauchemin. Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. Journal of Dairy Science. 2020 Sept; 103(9): 8034-8047.

DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DE VALORES DE ÍNDICE ULTRAVIOLETA

Data de aceite: 02/08/2023

Ciro William Taipe Huamán
Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca, Perú
https://orcid.org/0000-0002-6075-5582

Eva Genoveva Mendoza Mamani
Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú
https://orcid.org/0000-0003-0587-0753

Russel Allidren Lozada Vilca
Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca, Perú
https://orcid.org/0000-0002-8915-3964

Leandro Paucara Cahuana
Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca, Perú
https://orcid.org/0000-0003-0282-7936

Marisol Rojas Barreto
Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú
https://orcid.org/0000-0001-6916-3754

Valeriano Pari Torres
Universidad Continental, Perú
https://orcid.org/0009-0009-4069-2607

RESUMEN: El objetivo de la investigación es implementar una interfaz gráfica para realizar un análisis gráfico de los valores del índice ultravioleta durante una fecha específica, para lo cual se utilizó la GUI de MATLAB para la implementación utilizando el texto editable y opciones de botones para realizar procesos de cálculo, gráficos y subir archivos a la interfaz gráfica. Se logró implementar la interfaz gráfica con las funciones para realizar análisis gráfico y observar el comportamiento de los valores del índice ultravioleta.

PALABRAS-CLAVE: Índice UV, interfaz gráfica, GUI MATLAB, radiación solar

ABSTRACT: The objective of the research is to implement a graphical interface to carry out a graphical analysis of the ultraviolet index values during a specific date, for which the MATLAB GUI was used for the implementation using the editable text and button options to carry out calculation processes, graphics and upload files to the graphical interface. It was possible to implement the graphical interface with the functions to perform graphic analysis and observe the behavior of the ultraviolet index values.

KEYWORD: UV index, graphical interface, MATLAB GUI, solar radiation.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE, siglas en francés) adoptó en 1987 una “curva estándar del eritema” (CEI, 1998) que es utilizada habitualmente para determinar la radiación solar UV eritemática (UVER). Para la información de manera sencilla a la opinión pública sobre los niveles de radiación UV (*WMO*, 2002), se adopta el Índice UV (UVI) propuesto por (McKinley y Diffey, 1987), el cual es recomendado por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (WHO), por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).

Theran et al., (2015) presenta una aplicación grafica basada en la GUIDE de MATLAB, en la cual se muestra la implementación del algoritmo de diferencias finitas en el dominio del tiempo, para la simulación del fenómeno de refracción.

Zontov et al., (2020), presenta una herramienta MATLAB de código abierto que implementa el método estándar de análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA), así como sus desarrollos recientes, conocidos como PLS-DA multiclase en versiones dura y blanda.

Mayor et al., (2021)and demonstrate its use with an example data set that shows the effects of paced breathing (PB desarrolla CEPS como una GUI (interfaz gráfica de usuario) de MATLAB ® de acceso abierto para el análisis de *Complejidad y Entropía en Señales Fisiológicas* (CEPS), y demostrar su uso con un conjunto de datos de ejemplo que muestra los efectos de la respiración acompasada (PB) en la variabilidad del ritmo cardíaco, del pulso y de la respiración. CEPS también es suficientemente adaptable para ser utilizado para otros datos fisiológicos de series temporales como EEG (electroencefalografía), balanceo postural o mediciones de temperatura.

Wu et al., (2020) proporciona un programa CFLab (Laboratorio de ajuste de curvas) flexible y eficiente de MATLAB® GUI (interfaz gráfica de usuario) para realizar el ajuste de curvas en las distribuciones de tamaño de grano de sedimento utilizando las funciones de distribución de probabilidad de Weibull .

El trabajo de investigación es implementar una interfaz gráfica para el análisis de grafico del comportamiento de los valores de índice Ultravioleta durante una fecha específica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Índice Ultravioleta

El índice UV es un indicador de la intensidad de radiación ultravioleta proveniente del sol en la superficie terrestre en una escala que comienza en 0 y no está acotado

superiormente. El índice UV también señala la capacidad de la radiación UV solar de producir lesiones en la piel. No siempre la cantidad de luz ambiental va relacionada con el índice UV, puede ser engañoso. Ya que el índice y su representación variaban dependiendo del lugar, la Organización Mundial de la Salud junto con la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante publican un sistema estándar de medición del índice UV y una forma de presentarlo al público incluyendo un código de colores asociado el cual se muestra en la figura 2 según (*WMO*, 2002).

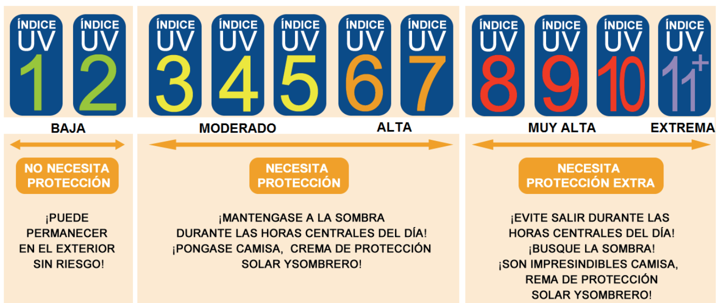


Figura 1. Niveles de índice UV

Cálculo de índice ultravioleta

Para estimar la irradiancia directa espectral en el suelo consideramos la ecuación (1)

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} E_o \tau_{r(\lambda)} \tau_{a(\lambda)} \tau_{o(\lambda)} \quad (1)$$

Donde $I_{on\lambda}$ es la constante solar espectral a la distancia media Tierra Sol, E_o es el factor de corrección para la distancia Tierra-Sol, λ longitud de onda, $\tau_{r(\lambda)}$ transmitancia por la dispersión de Rayleigh, $\tau_{a(\lambda)}$ transmitancia espectral del aerosol atmosférico y $\tau_{o(\lambda)}$ transmitancia para el ozono (Iqbal, 1983), los cuales se pueden estimar de la forma siguiente.

Transmitancia por la dispersión de Rayleigh se define como sigue:

$$\tau_{r(\lambda)} = e^{-0.008735\lambda^{-4.09} m_a} \quad (2)$$

donde m_a es la masa de aire relativa a la presión actual.

Transmitancia espectral del aerosol atmosférico definido como sigue:

$$\tau_{a(\lambda)} = e^{-\beta\lambda^{-\alpha} m_a} \quad (3)$$

Dende β es el coeficiente de turbiedad atmosférica, α es valor estrechamente relacionado con el tamaño y forma de la distribución de las partículas.

Transmitancia para el ozono de la forma:

$$\tau_{o(\lambda)} = e^{-k_{o\lambda} l m_o} \quad (4)$$

Donde: $k_{o\lambda}$ es el coeficiente de atenuación para la absorción del ozono, m_o es la masa de aire óptico relativa para el ozono y l es el espesor de capa de ozono (Hernández et al., 2014).

Para estimar la irradiancia difusa espectral en el suelo se calcular con la ecuación (5)

$$I_{d\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \quad (5)$$

Donde $I_{dr\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh, $I_{da\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles y $I_{dm\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera (Iqbal, 1983), los cuales se calcular de la forma siguiente.

La irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh

$$I_{dr\lambda} = I_{on\lambda} \cos\theta_z \, \tau_{o\lambda}[0.5(1-\tau_{r\lambda})\tau_{a\lambda}] \quad (6)$$

Donde θ_Z, es el ángulo cenital del lugar.

La irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles se calcula por la ecuación (7)

$$I_{da\lambda} = I_{on\lambda} \cos\theta_z \, \tau_{o\lambda}[F_c w_o(1-\tau_{a\lambda})\tau_{r\lambda}] \quad (7)$$

Donde F_C se define como el cociente entre la energía dispersada en la dirección entrante y la energía dispersada total, w_o es la dispersión simple del albedo.

La irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera se estima mediante la ecuación (8).

$$I_{dm\lambda} = Q_\lambda \left(\frac{\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}{1-\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}\right) \quad (8)$$

Donde Q_λ es la irradiación difusa resultante de múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera, $p_{a\lambda}$ es el albedo de la atmósfera y $p_{g\lambda}$ albedo del suelo.

Considerando las ecuaciones (6), (7) y (8) se obtiene la ecuación (9) para estima la irradiancia difusa espectral.

$$I_{d\lambda} = (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda})\frac{1}{1-\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}} + I_{n\lambda}\cos\theta_z \left(\frac{\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}{1-\rho_{g\lambda}-\rho_{a\lambda}}\right) \quad (9)$$

La irradiancia ultravioleta global espectral en una superficie horizontal lo calculamos por medio de la ecuación (10)

$$I_\lambda = I_{n\lambda}\cos\theta_z + I_{d\lambda} \quad (10)$$

El IUV es formulado utilizando el espectro de acción eritemática inducido por la radiación ultravioleta sobre la piel humana, formulada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

$$\mathrm{IUV} = \mathrm{k_{er}} \int_{0.28}^{0.4} \mathrm{I}_{\lambda} \varepsilon_{(\lambda)} d\lambda \qquad (11)$$

Donde k_{er} es una constante igual a 40 m^2 / W y $\varepsilon_{(\lambda)}$ es coeficiente de acción eritemática cuyo valores vienen dados por la ecuación (12) propuestos por Madronich y Flocke (Madronich y Flocke, 1997).

$$\varepsilon_{(\lambda)} = \begin{cases} 1 & , \quad \lambda \leq 0.298\mu m \\ 10^{0.094(298-\lambda 1000)} & , \quad 0.298\mu m < \lambda \leq 0.328\mu m \\ 10^{0.015(139-\lambda 1000)} & , \quad 0.328\mu m < \lambda \leq 0.400\mu m \end{cases} \qquad (12)$$

Desarrollo de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica de usuario fue desarrollada en el entorno de programación MatLab2020b, mediante un algoritmo basado en las expresiones (1)-(12) para calcular el índice ultravioleta. El algoritmo también permite subir datos de medidas de índice UV para realizar comparaciones en forma grafica en la interfaz gráfica.

RESULTADOS

En este trabajo se ha utilizado la plataforma de programación MATLAB para crear una GUI usando el comando de guía. Para este propósito, ejecute el primer comando de la guía MATLAB para abrir una ventana GUI en blanco. Para una nueva GUI, se ha elegido la opción GUI en blanco y luego se presiona el botón Aceptar. Se han habilitado cuadros de edición separados para cada variable de entrada que se usará en el programa. Los valores predeterminados para las variables de entrada se han definido en el cuadro de edición editando la cadena del cuadro de edición respectivo. El texto estático se ha utilizado para designar el nombre de la variable del cuadro de edición. Se han utilizado diferentes pulsadores para iniciar diferentes procesos. Calcular, subir datos y limpiar. Sea a considerado un axes para mostrar en forma grafico los resultados, se ha considerado dos table para mostrar en forma de columnas los datos calculados y subidos del archivo en formato Excel y dos sliders para variar los valores de la variable número de día y humedad relativa. En la figura 2 se muestra.

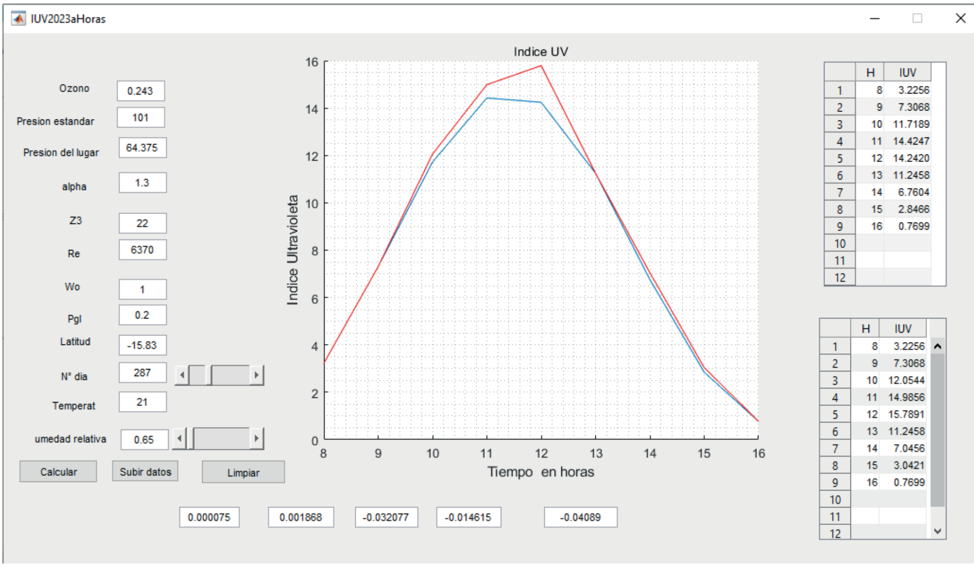


Figura 2. Interfaz gráfica de cálculo de índice UV por horas

En la figura 3 se muestra la descripción de la interfaz gráfica, donde se señala las variables de ingreso, la grafica de los resultados, las tablas de resultados del cálculo de índice ultravioleta por hora desde 8:00-16:00 en intervalos de una hora y también el archivo Excel subido para realizar la comparación de datos, como se muestra en la figura 4.

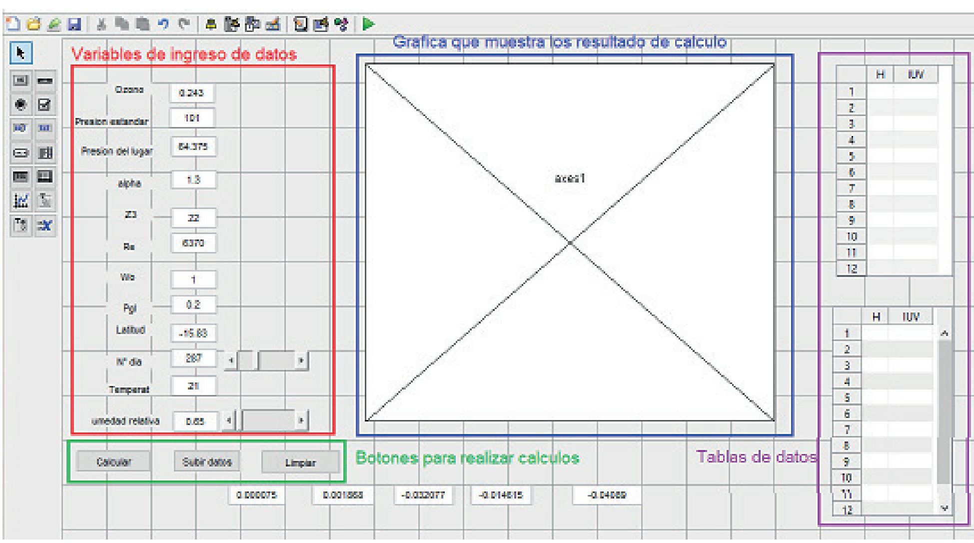


Figura 3. Descripción de interfaz grafica

En la figura 4, se muestra la forma como se registra los datos en el archivo Excel

para poder subir a la interfaz gráfica, dos columnas, una columna de tiempo que debe estar registro en intervalos de una hora desde la 8:00am hasta las 16:00pm y la segunda columna es los registro en estes intervalos el valor de índice ultravioleta por instrumentos, en nuestro cado son datos medidos por la estación meteorológica

	A	B	C
1	Hora	UV	
2	8	3.2256	
3	9	7.3068	
4	10	12.0544	
5	11	14.9856	
6	12	15.7891	
7	13	11.2458	
8	14	7.0456	
9	15	3.0421	
10	16	0.7699	
11			

Figura 4. Archivo Excel de datos medidos de índice UV por hora

Para subir archivos presión en el botón subir datos, a continuación, muestra el explorador en el cual se tiene que selección ar el archivo Excel de la figura 4, luego de seleccionar presionar abrir, la interfaz cargara los datos en la tabla de la interfaz y los va graficar en el axis de la interfaz como se muestra en la figura 2.

Para poder realizar otros cálculos para diferentes días presionar el botón limpiar, para borrar los datos calculados en la tabla y grafica de la interfaz y los almacenados en memoria.

CONCLUSIONES

Se logro implementar una interfaz gráfica para el análisis del comportamiento de los valores de índice Ultravioleta mediante la implementación el software MATLAB el cual permite generar valores de índice ultravioleta en intervalos de una hora para una fecha específica y también permite cargar a la interfaz datos de archivos externo para realizar comparaciones de valores de índice ultravioleta.

REFERENCIAS

CEI. (1998). CIE S 007/E - Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose | Engineering360.

Hernández, K., Morera, R. y Wright, J. (2014). Medición y cálculo del índice ultravioleta en Costa Rica. Tópicos Meteorológicos Y Oceanográficos, 2, 41-55.

Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. Academic Press.

Madronich, S. y Flocke, S. (1997). Theoretical Estimation of Biologically Effective UV Radiation at the Earth's Surface. Solar Ultraviolet Radiation, I, 23-48. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03375-3_3

Mayor, D., Panday, D., Kandel, H. K., Steffert, T. y Banks, D. (2021). Ceps: An open access matlab graphical user interface (gui) for the analysis of complexity and entropy in physiological signals. Entropy, 23(3), 1-34. https://doi.org/10.3390/e23030321

McKinley, A. y Diffey, B. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE, 6, 17-22.

Theran, L., Valbuena, S. y Racedo, F. (2015). Desarrollo de un GUI en MATLAB para la simulación del fenómeno de refracción por FDTD. Revista Del Programa De Matemáticas, 1(March).

WMO. (2002).

Wu, L., Krijgsman, W., Liu, J., Li, C., Wang, R. y Xiao, W. (2020). CFLab: A MATLAB GUI program for decomposing sediment grain size distribution using Weibull functions. Sedimentary Geology, 398. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105590

Zontov, Y. V., Rodionova, O. Y., Kucheryavskiy, S. V. y Pomerantsev, A. L. (2020). PLS-DA – A MATLAB GUI tool for hard and soft approaches to partial least squares discriminant analysis. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 203(January), 104064. https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2020.104064

CAPÍTULO 12

ESTIMATION OF DRUG SHELL-LIFE TIME USING STATISTICAL RELIABILITY MODELS

Data de aceite: 02/08/2023

Ramón A. Pons Murguía
PhD. Researcher.
Faculty of Industrial Engineering-
University of Guayaquil.
Guayaquil, Ecuador

Eulalia M. Villa González Del Pino.
PhD. Researcher.
Faculty of Industrial Engineering-
University of Guayaquil.
Guayaquil, Ecuador

ABSTRACT: Stability is the property of a drug to keep its physical, chemical, and microbiological characteristics between the specified limits, during the time of storage and use. Its study should include the evaluation of those attributes that are susceptible to change and that is known they influence its quality, safety and fitness for use. Studies could be accelerated or natural aging. Accelerated aging i designed to increase the rate of chemical degradation and physical change under extreme conditions to predict drug shelf life in a short-term.

This research was aimed to make a comparison between the results obtained by both studies to determine whether the accelerated aging is a reliable tool to predict drug shell-life.

The natural stability study was developed over a period of 60 months under controlled conditions, meanwhile, the accelerated stability study was carried out over a period of 3 months, during which 3 pilot batches were tested. Comparison of both types of trials yielded similar results, but in less time and less batches with the application of accelerated trials.

KEYWORDS: drug shelf-life, stability, natural testing, accelerated testing, statistical reliability models

1 I INTRODUCTION

During pharmaceutical development, the stability of the product has been assessed during long-term study. If any stability issues are discovered at this point of the process, it will result in re-formulation and important loss of time and cost. Therefore, important efforts are made to select the most stable product (1). Nevertheless, predicting the stability of the developed product at early stage of the development is challenging. Accelerated stability assessment based on Arrhenius

equation approach, appears as an interesting tool allowing to evaluate stability and shelf-life of pharmaceutical product in a short period of time (2,5,6).

The application of Statistical Reliability has achieved significant advances in the field of stability studies of electronics, automation, home appliances, aircraft production and operations, and many other products. However, it has not been widely promoted into the pharmaceutical field, even considering the complexity of the stability tests, the socioeconomic impact of the drug shell-life and the variation effects associated to the drug manufacturing processes. among the new challenges involved in developing acceptable dosage forms for active pharmaceutical ingredients is demonstrating adequate chemical stability (8,9).

Expiration dating is generally determined based on the time a drug remains within specification limits or total degradation at a recommended storage condition (3,4).

This paper introduces a procedure for stability assessments based on accelerated aging testing of drugs that provides credible predictions for product expiration understanding.

Hence, the objective of this research is to make a comparison between predicted and long-term data that were found accurate for a product, confirming the real interest of accelerated predicting stability approach for consistent determination of long-term stability shelf-life of pharmaceutical products.

2 I MATERIALS AND METHODS

To make the comparison between the results obtained by the long term laboratory tests and the accelerated testing approach, to determine if the Mathematical Reliability Model is a reliable tool to predict the Shell-life of an oral diabetics drug, two different studies were conducted under the following conditions:

1. **Conditions for the development of the natural stability study:**

Study duration: Samples were followed for 60 months.

Number of batches: The study was carried out on 2 batches manufactured in the same year.

Sampling times: The sampling was carried out in the following intervals 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 and 60 months.

Temperature and relative humidity: 35 +2 ° C. 70% RH.

Data treatment: The concentration obtained vs time is plotted and the equation of the line for t90.

Sample totals per batch: During the 60 months, 3 were analyzed at each time.

samples per lot that is 30 samples in total for each lot.

The value of the concentrations from beginning to time zero is made up of the data from initial quality control of each batch.

The studies were carried out in the same containers and packaging in which the product is marketed.

2. Conditions for the development of Accelerated stability studies:

1. Study duration: Samples were followed for 3 months.
2. Number of lots: The study was carried out on 3 pilot lots.
3. Sampling time: Sampling was carried out at intervals 0, 1, 2, 3, months.
4. Temperatures and relative humidity: 20 + 2 ° C, 35 + 2 ° C, 50 + 2° C, 70% RH
5. Data treatment: the concentration obtained vs. time is plotted and the
6. equation of the line for t_{90}.
7. The value of the concentrations from beginning to time zero is made up of the data initial quality control of each batch.
8. The studies must be carried out in the same containers and packaging in which the will market the product.

Proposed model for natural stability analysis

1. Determine the 95% confidence limit.
2. Calculate the regression line from the logarithm of the mean of the remaining concentration obtained versus time.
3. Determine Useful Life: The intercept of the lower confidence limit curve of the
4. 95% over the limit control value (90% of the concentration).

Proposed Model for Accelerated stability analysis.

1. Determine the speed constant (k): To find the speed constant (K) of a reaction at a certain temperature.
2. *Diagram* reaction rate.
3. Calculate shelf life

	Sample	*Number of*	*Form*	*Estimated*	*Punto de*
Group	*Size*	*Failures*	*Esimation*	*Scale*	*Inicio*
20	10	10	4,30138	6686,68	0,0
35	10	10	4,29587	5730,1	0,0
50	10	10	4,29587	4775,08	0,0

Table 1

Figure 1 shows the goodness of fit for adjusted distributions of failure times of three lots at temperatures in which the tests were performed.

Proposed model for Reliability analysis.

Having carried out the laboratory tests according to the method described above, the results have been tabulated according to a laboratory scheme from which the pertinent information for the Reliability analysis was extracted.

STATGRAPHICS Statistical Software (7) was used for data processing of the conducted studies, considering the temperature in Kelvin, the observations (converted to hours), per cent of titration, lot number, and censorship specification. All tabulated data were considered as not censored, given that at the time of drug inspection and verification, they showed degradation. Model's comparisons were made by means of Weibull Analysis and Arrhenius Graphs.

3 I ANALYSIS AND RESULTS

According to the natural stability model, it was obtained that the drug begins its degradation from 8 months at a regular average temperature of 20° C, through extrapolation. Considering the conditions applied to the test we have that for a temperature of 35 ° C the shelf life was 7,2 months, while for a temperature of 50 ° C it was shown in 6 months.

Table 1 shows the results of fitting a Weibull distribution to data values in time. The shape and scale parameters were estimated using maximum likelihood. The maximum value of the distribution was assumed to be located at 0.0. Distributions were adjusted separately for the 3 groups. All tabulated were considered as not censored, given that at the time of drug inspection and verification, they showed degradation.

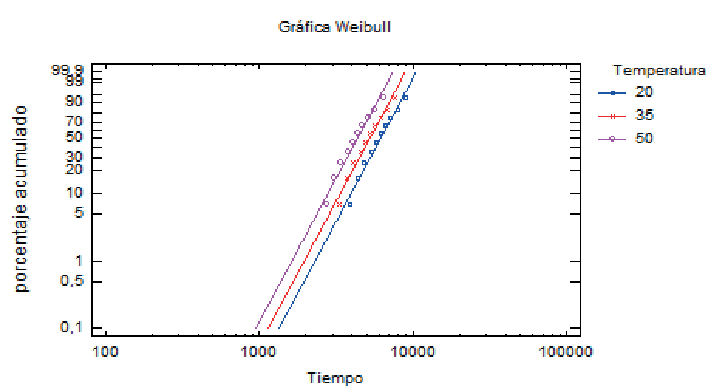


Figure 1 Weibull distributions of failures adjusted for different temperatures

Table 2 shows the estimates of percentiles through Weibull analysis. It is observed that the drug has 99% chance of 3-month, 2.7-month and 2.3-month sample survival for

20,35 and 50 ° C, respectively. Analogously, has 50% chance of 8.5, 7.3 and 6-month sample survival, respectively, and 1% chance of 13, 11 and 9.5-month sample survival, respectively.

Temperatura	*X*	*Área Cola Inferior (<)*	*Área Cola Superior (>)*
20	2294,83	0,01	0,99
	3962,77	0,1	0,9
	6140,52	0,5	0,5
	8117,45	0,9	0,1
	9536,83	0,99	0,01
35	1963,84	0,01	0,99
	3393,59	0,1	0,9
	5261,49	0,5	0,5
	6957,91	0,9	0,1
	8176,23	0,99	0,01
50	1636,53	0,01	0,99
	2827,99	0,1	0,9
	4384,58	0,5	0,5
	5798,26	0,9	0,1
	6813,53	0,99	0,01

Table 2 Time critical values

Consequently, the Arrhenius plot shows a model to estimate the drug shell-life time:

Adjusted model

P50 = 165,884*exp(0,0913583/k*KELVIN)

k = Boltzmann constant (8,617E-5 EV/degrees K)

Regression Statistics

Number of observations = 30

Intercept = 5,11129

Slope = 0,0913583

R-square = 99,4264%

Prediction

Temperature: 308,0 K

Estimated percentil: 5185,02

Lower limit 95,0%: 5164,12 h

Upper limit 95,0%: 5206,0 h

Figure 2 shows the graphical representation of the model

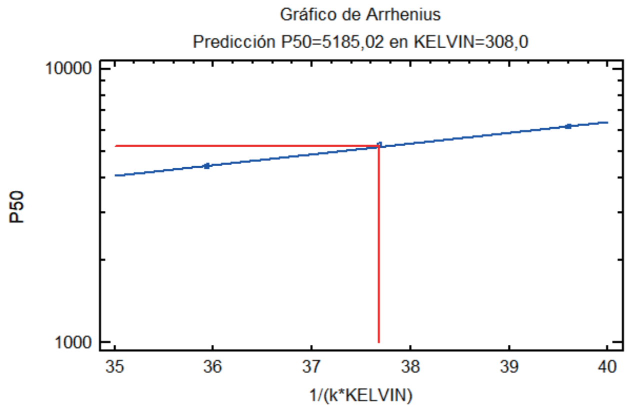


Figure 2 Arrhenius plot

The mathematical model based on the observed formation of the degradant at all experimental conditions was built by using the Arrhenius equation and STATGRAPHICS statistical software.

The adjusted model was P50 = 165,884*exp(0,0913583/k*KELVIN)

Where: k = Boltzmann constant (8,617E-5 EV/degrees K)

The comparison of the predicted versus experimental values, obtained by the long-term stability study, gave a mean deviation value of 1%, a R - square value of 0.994, and a p-value of 0.05.

The use of the Arrhenius equation modeling theory was found to be of value to set specifications and storage condition, using only few trials, with a good fit and resource saving.

CONCLUSIONS

The application of Reliability Statistical Models demonstrates the usefulness of their use because it is possible to obtain reliable results in terms of estimating the drug shell-life times, in a shorter time and with lower costs than those required by traditional methods.

On the other hand, if the stability of the product is assessed during long-term study and any stability issues are discovered at this point of the process, it will result in re-formulation and important loss of time and cost. Therefore, important efforts must be made to select the most stable product. Accelerated stability assessment program based on Arrhenius equation, appears as an interesting tool allowing to evaluate stability and shelf-life of a pharmaceutical product in a short period of time.

An accelerated approach utilizing the Arrhenius equation and STATGRAPHICS statistical software was utilized to quantitatively assess the stability of an oral diabetic's drug, under the influence of temperature. A mathematical model based on the observed

formation of the degradant at all experimental conditions was built by using the Arrhenius equation and STATGRAPHICS statistical software. Comparison of the predicted versus experimental values gave a mean deviation value of 1%, a R - square value of 0.994, and a p-value of 0.05.

The use of the Arrhenius equation modeling theory was found to be of value to aid setting of specifications and storage condition selection. The model was also generated using only few trials, as an example from a resource saving perspective, which was found to provide a good fit to the entire set of data.

ACNOWLEDGMENTS

We are grateful to Professors Dayana Lozada and Freddie Steve Pincay, of the Guayaquil University, for reviewing our paper and their valuable suggestions that contributed to its final presentation.

REFERENCES

Colgan, ST, Mazzeo, T, Orr, R. 2018. Regulatory expectations, and industry practice on stability testing. Accelerated Predictive Stability, 15–32.

Fu M, Perlman M, Lu Q, Varga C. 2015. Pharmaceutical solid-state kinetic stability investigation by using moisture-modified Arrhenius equation and JMP statistical software. J Pharm Biomed Anal, 107:370–7

He N., Sun H., Dai M. 2014. Evaluation of the influence of humidity and temperature on the drug stability by initial average rate experiment. Zhong Nan Da Xue Bao Yi Xue Ban, PubMed. 39:501–510.

Li H, Borjas R. 2018. ASAP applications in clinical development: prediction of degradation and dissolution performance. Accelerated Predictive Stability, 369–82.

Qiu F, Scrivens G. 2018. Accelerated predictive stability. In: Qiu F, Scrivens G, editors. Accelerated predictive stability. Boston: Academic Press; xxiii-xxiv.

Scrivens G, Ticehurst M, Swanson JT. 2018. Strategies for improving the reliability of accelerated predictive stability (APS) studies. Accelerated Predictive Stability. 175–206.

Statgraphics Centurion, 2017. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia.

Waterman KC. 2011. The application of the accelerated stability assessment program (ASAP) to quality by design (QbD) for drug product stability. AAPSPharmSciTech, 12 (3) :932–7.

Waterman R, Lewis J, Waterman KC. 2017. Accelerated stability modeling for peptides: a case study with bacitracin. AAPS PharmSciTech.18(5):1692–8.

ESTRATEGIA TECNOLÓGICA INTELIGENTE DE APOYO A LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES CARDIACAS

Data de aceite: 02/08/2023

Silvia Soledad Moreno Gutiérrez
Profesor investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

Héctor Daniel Molina Ruíz
Profesor investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

El aprendizaje automático mejor conocido como machine learning, ha ofrecido amplio apoyo y beneficios a los sectores de la sociedad. En el área de la salud su enfoque ha sido orientado hacia los grupos vulnerables por su necesidad de atención y de solucionar problemáticas potenciadas por su situación económica generalmente desfavorable que les impide el acceso a la atención médica. Al respecto, el presente trabajo tiene como propósito construir una estrategia de prevención de enfermedades del corazón, considerando que están ubicadas como la primera causa de muerte en el mundo y también en México. Por lo anterior, se desarrolló una estrategia tecnológica basada en un modelo de predicción de enfermedades en el corazón a través de aprendizaje automático y la técnica de Inteligencia Artificial (AI) conocida como Redes Neuronales Artificiales (RNA). Considerando el impacto favorable que el aprendizaje automático ha significa para el área de la salud por sus diversas propuestas desarrolladas para pronóstico de enfermedades, y con base en el problema derivado de los problemas cardiacos cada vez más frecuentes en el mundo y con alto índice de mortalidad, se decidió ofrecer apoyo a través del desarrollo tecnológico.

Para ello, una de las metodologías de ciencia de datos de mayor aplicación es la Proceso Estándar Entre Industrias para la Minería de Datos (CRISP-DM por sus siglas en inglés) orientadas a la construcción de modelos a través del aprendizaje automático basado en datos. Se construyeron tres modelos de clasificación, el de mejor rendimiento fue el perceptron multicapa con 93.23% de precisión, 91.65% de exactitud, 91.85% de especificidad y 91.49% de sensibilidad, por lo que se consideró adecuado para

apoyar el diagnóstico oportuno del paciente. El trabajo que se expone muestra el proceso de desarrollo de la estrategia tecnológica.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades del corazón representan una de las principales causas de muerte para los habitantes en el planeta, en países de Norte América estas patologías se presentan con frecuencia y el 47% tiene asociado algún factor de riesgo como presión arterial alta o colesterol alto. Estas enfermedades son crónicas, es decir, permanecen por largos periodo de tiempo, su causa no es precisa y en general no tienen cura, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) constituyen un problema grave para la sociedad en cada región del mundo y son responsables de 17.9 millones de muertes por año (OMS, 2022).

Con base en esta problemática y considerando el alto potencial de la ciencia de datos y del aprendizaje automático en el ámbito de la salud, de manera permanente se realiza revisión del estado del arte en cuanto a las propuestas publicadas y disponibles, cuyo propósito es contribuir a la prevención de estas enfermedades a través de la construcción de estrategias tecnológicas de fácil uso y accesibilidad.

La literatura expone amplio número de propuestas e investigaciones con el propósito que se aborda.

Llodrá (2018) Desarrolló un algoritmo para la clasificación de arritmias cardíacas utilizando el modelo de Redes Neuronales Convolucionales (RNC) con una precisión de 67.09%. Cucas et al (2021) Desarrollaron un algoritmo para la clasificación de arritmias cardiacas utilizando la técnica de señales provenientes de la realización de Electro Encefalogramas (EGG9, aplicando algoritmo de la máquina de soporte vectorial (MSV), K-Vecinos más cercanos (KNN), Perceptrón Multicapa (MLP) y Árbol de decisión (AD).

Pérez Soria (2019) desarrolló algoritmo para identificar factores de riesgos de insuficiencia cardiaca con Random Forest (RF) y alcanzó 35%, AdaBoost con 33% y MLP con 37%. Confident (2018) aplicó algoritmo para diagnosticar enfermedades cardiacas ejecutando mediante MSV con precisión del 64.36%. Choque Forra y Mamani Mamani (2020) Desarrollaron un predictor de supervivencia ante la insuficiencia cardiaca utilizando Regresión Lineal (RL) de 87% de precisión, K-NN con 67%, AD con 90%, MSV con 72% y RF con 90%, siendo este último la mejor alternativa.

Ayala Poma y Huaman Ollero (2020) Desarrollaron un algoritmo de predicción de complicaciones cardiacas utilizando minería de datos y señales electro cardiográficas, lograron precisión de 90%, base de datos clínicos con 85% y con aprendizaje automático los dispositivos open source con 70% y Wearables con 50%, mostraba más técnicas las cuales no tienen una precisión establecida, estas técnicas utilizaron un entrenamiento supervisado, semi-supervisado y no supervisado.

Javier (2019) aplicó algoritmo inteligente para clasificación del audio cardiaco como

la Regresión logística (LR) con 76% de precisión, Análisis Discriminante Lineal (LDA) con 72%, K-NN con 75%, AD con 74% y redes bayesianas con 63%. Zapana (2021) Desarrolló un algoritmo para la determinación de valvulopatías cardiacas a través del análisis de sonidos del corazón con modelos de CNN con una precisión de 89.7% en diagnóstico de pacientes sanos y 78.9% en pacientes con valvulopatías. Gallego Valcárcel y Lucas Monsalve (2021) Desarrollaron un algoritmo para predecir el riesgo de fatalidad por insuficiencia cardiaca mediante MSV con 86.51% de precisión, MLP con 87.38% y RF con 83.67%.

Mohan et al., (2019) Desarrollaron un predictor para enfermedades cardiacas usando técnicas híbridas de aprendizaje automático siendo como mejor acertada los Árboles Potenciado por Gradiente con un 94.1% de precisión, Bayer ingenuo con 90.5% y RL con 89,9%. Bharti et al (2021) Desarrollaron predicción de enfermedades cardiacas mediante una combinación de aprendizaje automático y aprendizaje profundo utilizando RF con precisión de 80.3%, RL con 83,31%, K-NN con 84.86%, MSV con 83.29%, AD con 83.33%, XGBoost con 71.4%. Dangare y Apte en el artículo de Aljanabi et al., (2018) Desarrollaron un algoritmo para la predicción de enfermedades del corazón utilizando RNA con precisión de 80%, sensibilidad 85% y especificidad de 70%.

Dada la importancia de brindar estrategias que contribuyan al diagnóstico y prevención de estas enfermedades, así como los resultados de la revisión efectuada que expresan unos resultados que aun requieren estudios e investigación exhaustiva, el presente trabajo consiste en una propuesta basada en RNA para predecirlas, la cual constituirá un apoyo para la prevención de este problema de salud. En la presente propuesta se aplicaron otros algoritmos de aprendizaje tales como RNA, RL y RF para obtener un criterio más amplio basado en el análisis comparativo.

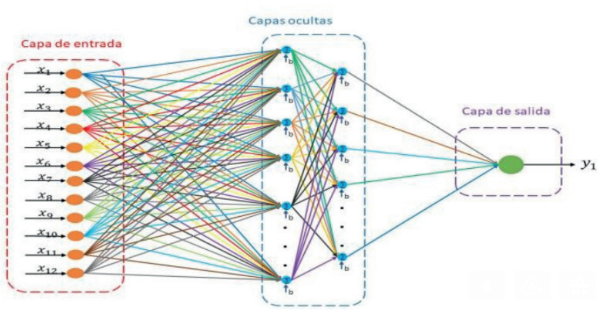


Figura1. RNA

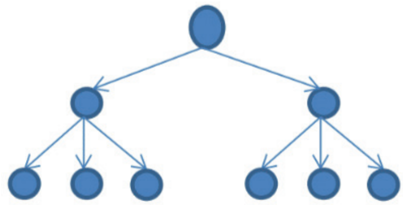


Figura2. RF

Desarrollo de un predictor de enfermedades cardiacas

Se inició el trabajo a partir de la descarga del banco de datos que se extrajo de la página kaggle.com el cual integra los indicadores clave de personas con enfermedades cardíacas, se contó con un total de 31,979 registros y 14 variables que se exponen en la tabla 1.

Se aplicó la Metodología de Proceso Estándar de la Industria Cruzada para la Minería de Datos (CRISP-DM, por sus siglas en inglés), adecuada para explotación de datos mediante técnicas de aprendizaje automático. Las técnicas aplicadas fueron RNA, RF y RL por su habilidad y potencial de predicción.

Metodología CRISP-DM

Esta metodología consta de 6 pasos que se desarrollaron y se exponen a continuación:

1. Entendimiento del negocio
2. Entendimiento de los datos
3. Preparación de los datos
4. Elección del modelo
5. Validación del modelo
6. Despliegue (Arias et al., 2021).

En la fase 1 analizó la situación actual relacionada con las enfermedades cardiacas y problema que representa a nivel mundial, de igual forma, se analizó el hecho de que los modelos de predicción hoy en día apoyan de forma importante las áreas de la salud, de igual forma, dado que las redes neuronales artificiales ofrecen alto potencial en tareas de este tipo, se aplicaron a la solución que se busca.

En la fase 2, se analizaron los datos reunidos en el banco de datos el cual consta de las variables que se muestran en la tabla1.

Variable	Tipo
¿Enfermo?	Categórica
IMC	Numérica
Estado de fumador	Categórica
Alcohólico	Categórica
Derrame cerebral	Categórica
Salud física (Rango del 1 al 100)	Numérica
Salud mental (Cuantos días, llega hasta 30)	Numérica
Camina con problema	Categórica
Diabético?	Categórica
Actividad Física	Categórica
Salud General	Categórica
Horas que duerme	Numérica
Asma	Categórica
Enfermedad del Riñón	Categórica

Tabla 1. Variables

El banco de datos contó con registros completos y sin datos nulos. El análisis multivariado mediante la matriz de correlación permitió identificar la alta correlación entre las variables, enfatizando en salud general y dificultades para caminar, las variables seleccionadas fueron 14.

En la fase 3, se eliminaron variables irrelevantes: raza, sexo, cáncer de piel. La variable objetivo es ¿enfermo? es categórica por lo que se desarrolló un modelo de clasificación. Posteriormente se generaron "dummies" en algunas variables con más de dos categorías, por ejemplo la variable Salud general y salud mental. Posteriormente se realizó la normalizando los datos con *MinMax scaler*.

En la fase 4 se entrenaron algunos modelos con el propósito de elegir el mejor. Se dividió el banco de datos en dos bloques, el de entrenamiento (80%) y el de prueba (20%). Se entrenaron 3 modelos a partir de los algoritmos de aprendizaje antes mencionados.

Se aplicó algoritmo de red neuronal RNA con MLP, RF Y RL, logrando los mejores resultados el segundo modelo.

En la fase de validación se aplicó matriz de confusión con las siguientes ecuaciones (Düntsch y Gediga, 2019). Para conseguir los resultados se calcularon:

Precisión	VP/(VP+FP)
Exactitud	VP+VN/(VP+FP+FN+VN)
Sensibilidad	VP/(VP+FN)
Especificidad	VN/(VN+FP)

Comportamiento del modelo ante el problema

Los modelos aplicados a la solución del problema así como sus métricas de rendimiento se muestran a continuación como resultado en la tabla 2, tabla3 y tabla 4.

Verdaderos Positivos (VP) 3224	Falsos Positivos (FP) 234
Falsos Negativos (FN) 300	Verdaderos Negativos (VN) 2638

Tabla 2. Resultados MLP

Verdaderos Positivos (VP) 3454	Falsos Positivos (FP) 256
Falsos Negativos (FN) 384	Verdaderos Negativos (VN) 2302

Tabla 3. Resultados RL

Verdaderos Positivos (VP) 3328	Falsos Positivos (FP) 467
Falsos Negativos (FN) 382	Verdaderos Negativos (VN) 2219

Tabla 4. Resultados RF

La tabla 5 muestra el resumen de resultados en cada caso, a partir de la cual es posible observar el rendimiento de cada uno, considerando un total de 25,583 registros para entrenamiento y 6396 para validación.

Modelo	**Métrica de validación**	**Precisión**	**Exactitud**	**Sensibilidad**	**Especificidad**
MLP	Matriz de confusión	93.23%	91.65%	91.49%	91.85%
RL		93.10%	89.99%	89.99%	89.99%
RF		87.69%	86.73%	89.70%	82.61%

Tabla 5. Resultados

COMENTARIOS FINALES

El mejor rendimiento se obtuvo a través del MLP luego de entrenar el modelo de RL y RF. El mejor modelo logró representar de forma adecuada los patrones de entrada durante el entrenamiento para luego predecir con alta precisión la enfermedad en los pacientes. Las RNA son alternativas tecnológicas de alto potencial para la predicción en el área de salud.

El aprendizaje automático ha brindado apoyo y adquirido protagonismo en los últimos años debido a sus posibilidades de representar problemas de comportamiento no lineal, y con base en esto ha logrado incrementar la calidad de vida de las persona.

Las técnicas de machine learning han sido ampliamente aplicadas en el diagnóstico de enfermedades cardiacas, no obstante, han alcanzado resultados de precisión que aun requieren estudios de mayor profundidad, sin embargo, el modelo que se propone alcanzó un rendimiento superior a los identificados en la literatura.

REFERENCIAS

Aljanabi, M., Qutqut, M. H., & Hijjawi, M. Machine learning classification techniques for heart disease prediction: a review. International Journal of Engineering & Technology, 7(4), 5373-5379. 2018.

Ayala Poma, M. E., & Huaman Ollero, J. A. Técnicas y Herramientas para la predicción de complicaciones cardiacas, utilizando wearables inteligentes: una revisión sistemática de la literatura.2020.

Arias, E. B. N., Nuñez, B. M. G., Fernández, L. N., & Pupo, J. M. R. CRISP-DM y K-means neutrosofía en el análisis de factores de riesgo de pérdida de audición en niños. Revista Asociación Latinoamericana de Ciencias Neutrosóficas. ISSN 2574-1101, 16, 73-81. (2021).

Bharti, R., Khamparia, A., Shabaz, M., Dhiman, G., Pande, S., & Singh, P. . Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning. Computational intelligence and neuroscience, 2021.

Choque Forra, D. P., & Mamani Mamani, J. L. Predicción de supervivencia ante la insuficiencia cardíaca. Revista de Investigación Estudiantil Iluminate, 12, 77. 2020.

CONFIDENT, L. Estrategia “muestra del menos confiable” para el diagnóstico de enfermedades cardiacas. (2018).

Cucas, H. A. A., Piscal, E. A. M., Torres, D. M., & Chamorro, A. X. O. Diseño de un sistema de procesamiento y caracterización de potenciales ECG para la clasificación de arritmias cardiacas, mediante el uso de técnicas de aprendizaje automático supervisadas. Boletín Informativo CEI, 8(2), 204-210. 2021.

Düntsch, I., & Gediga, G. (2019). Confusion matrices and rough set data analysis. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1229, No. 1, p. 012055). IOP Publishing.

Gallego Valcárcel, D. A. & Lucas Monsalve, D. F. Modelos de aprendizaje automático para la predicción del riesgo de fatalidad por insuficiencia cardiaca con datos clínicos. Repositorio. UAN. Recuperado 7 de septiembre de 2022, de http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/4803/5/2021DavidAlejandroGallegoMonografi%CC%81a.pdf

Hoyos, M. L., Vivas, M. C. B., & López, J. M. L. Detección Automática De Soplos Cardiacos A Partir De La Señal De Fonocardiografía. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería. 2019.

Javier, I. G. U. Clasificación del audio cardiaco mediante representación escasa de señales y aprendizaje automático.2019.

Khourdifi, Y., & Bahaj, M. Heart disease prediction and classification using machine learning algorithms optimized by particle swarm optimization and ant colony optimization. International Journal of Intelligent Engineering and Systems, 12(1), 242-252. 2019.

Li, J. P., Haq, A. U., Din, S. U., Khan, J., Khan, A., & Saboor, A. Heart disease identification method using machine learning classification in e-healthcare. IEEE Access, 8, 107562-107582. 2020.

Li, J. P., Haq, A. U., Din, S. U., Khan, J., Khan, A., & Saboor, A. Heart disease identification method using machine learning classification in e-healthcare. IEEE Access, 8, 107562-107582. 2020.

Llodrà Bisellach, G. “Aprendizaje automático para la clasificación de arritmias cardíacas”. 2018.

Mohan, S., Thirumalai, C., & Srivastava, G. Effective heart disease prediction using hybrid machine learning techniques. IEEE access, 7, 81542-81554.2019.

Montoya, R. A., Santa Chávez, J. J., & Mora, J. D. J. V. Aplicación del aprendizaje automático con árboles de decisión en el diagnóstico médico. Cultura del cuidado, 10(1), 63-72.2013.

Organización Mundial de la Salud. Enfermedades cardiovasculares. 2021. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1

Pérez Soria, B. Explorando factores de riesgo de insuficiencia cardíaca a través del aprendizaje automático (Bachelor’s thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). 2019.

Rajdhan, A., Agarwal, A., Sai, M., Ravi, D., & Ghuli, P. Heart disease prediction using machine learning. International Journal of Research and Technology, 9(04), 659-662. 2020.

Ramalingam, V. V., Dandapath, A., & Raja, M. K. Heart disease prediction using machine learning techniques: a survey. International Journal of Engineering & Technology, 7(2.8), 684-687. 2018.

Rani, P., Kumar, R., Ahmed, N. M., & Jain, A. A decision support system for heart disease prediction based upon machine learning. Journal of Reliable Intelligent Environments, 7(3), 263-275. 2021.

Zapana Calderon, R. F. (2021). Determinación de valvulopatías cardiacas a través de análisis de sonidos del corazón mediante algoritmos de machine learning. 2021.

PROYECTO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA CON PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA EN POBLACIÓN MARGINADA DEL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO

Data de aceite: 02/08/2023

Lezama Zárraga Francisco Román
Universidad Autónoma De Campeche, Campus V, San Francisco de Campeche, Cam., México.

Chan González Jorge de Jesús
Universidad Autónoma De Campeche, Campus V, San Francisco de Campeche, Cam., México.

Shih Meng Yen
Universidad Autónoma De Campeche, Campus V, San Francisco de Campeche, Cam., México.

Salazar Uitz Ricardo Rubén
Universidad Autónoma De Campeche, Campus V, San Francisco de Campeche, Cam., México.

Noh Pat Felipe.
Universidad Autónoma De Campeche, Campus V, San Francisco de Campeche, Cam., México.

RESUMEN: En este artículo se propone el proyecto para la implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red (SFVIR) que beneficie a la población marginada de la localidad agrícola de Xbilincoc, Campeche. A través de la Generación Distribuida (GD) será posible direccionar la energía eléctrica que produce esta planta para su autoconsumo y venta de los excedentes a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dependiendo del análisis de contraprestación de servicios que le sea más conveniente a los productores. La planta generadora será administrada por la cooperativa agrícola formada por el comisario y agricultores más activos del poblado y los recursos económicos necesarios para su construcción y puesta en servicio serán a través de un mecanismo de financiamiento otorgado por el Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE) y cuando ya se haya pagado en su totalidad, los beneficios económicos serán para las familias asegurando mantener energía eléctrica en los hogares sin costo y lograr fortalecer el desarrollo económico del poblado mediante la administración de los recursos obtenidos de la venta de la energía eléctrica a la CFE.

PALABRAS-CLAVE: Generación Distribuida, autoconsumo, población marginada.

INTRODUCCIÓN

En este artículo, se propone el diseño e implementación de una planta

generadora fotovoltaica de energía eléctrica interconectada a la red de distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el poblado rural de Xbilincoc, Hopelchén, Campeche con el fin de proporcionar la energía eléctrica a las viviendas para autoconsumo y para comercializar parte de esa energía a través de su venta a la Comisión Federal de Electricidad. Dicha energía será utilizada en las labores cotidianas en los hogares y del excedente que no se consuma será vendida a la CFE para obtener recursos económicos que se invertirán en la instalación de los servicios públicos en el poblado con el fin de mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Por medio del Departamento de Electrificación Rural, la CFE construirá un ramal de la línea de distribución con una longitud de 4.5 km para alimentar en media tensión al poblado y construirá la red interna de distribución a 34500/220-127 V. A través del concepto de Generación Distribuida el poblado dispondrá de energía eléctrica de calidad en el sitio debido a que la energía no recorrerá grandes distancias desde la generación hasta el punto de consumo eliminando así las pérdidas en la línea.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La localidad de Xbilincoc, en el municipio de Hopelchén, en el Estado de Campeche es una población marginada que actualmente no cuenta con el servicio público de energía eléctrica, su única fuente de consumo de electricidad es a través de paneles fotovoltaicos individuales de 180 W, de los cuales se tiene instalado 3 paneles por vivienda lo hace insuficiente para cubrir las necesidades básicas de los pobladores.

Con respecto al consumo de energía eléctrica las viviendas sólo cuentan algunos focos incandescentes, focos fluorescentes y un pequeño refrigerador.

Existe un antecedente en 2006 del uso de paneles fotovoltaicos aislados en la comunidad; sin embargo, debido a la falta de mantenimiento y capacitación a los pobladores se dañaron las baterías y otros accesorios, ocasionando que actualmente el sistema en cada vivienda funcione ineficiente y en algunos casos se mantenga en desuso. Por otra parte, la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad se encuentra a 4.5 km aproximadamente del poblado y las autoridades han realizado gestiones a través de los años para que la CFE les suministre la energía eléctrica, pero hasta el momento no han rendido frutos estas gestiones.

Derivado de lo anterior, se propone la implementación de una planta generadora de energía eléctrica con un sistema fotovoltaico interconectado a red (SFVIR) y así cubrir y satisfacer las necesidades básicas socioeconómicas de la población. Con la operación del SFVIR, mediante un esquema de cooperativa agrícola, actuando como un Productor Independiente de Energía (PIE), se podrá generar y vender la energía eléctrica a un Suministrador Calificado y este a su vez, la venderá a la CFE Suministro Básico y el capital obtenido de las ventas para el crecimiento económico será destinado a la promoción de

empleos y el desarrollo sostenible de la población, lo que contribuirá a que la población tenga una mejor calidad de vida, y una mejor productividad en su actividad local principal que desarrollan actualmente como es la agricultura.

En México tenemos la oportunidad de aprovechar los recursos naturales renovables para desarrollar tecnologías y crear centrales eléctricas generadoras de menor capacidad y mayor eficiencia que las plantas generadoras convencionales, siendo esta una alternativa muy atractiva tanto técnica como económica. Y también existen muchos mecanismos de financiamiento público como FIDE, CONUEE, GIZ, FOTEASE, FSE, FSUE, etc., que otorgan crédito o financiamiento a través de proyectos de desarrollo para el combate a la pobreza, creando vinculación entre Estados, Municipios y Gobierno Federal para el establecimiento de acuerdos y convenios.

Es una oportunidad para el poblado de Xbilincoc lograrlo, por lo que se debe concientizar profundamente a los pobladores sobre su implementación y los beneficios socioeconómicos que se obtendrán para ellos y para el medio ambiente.

MARCO TEÓRICO

La legislación en materia de energía eléctrica ha evolucionado en los últimos años, de solamente permitir el monopolio de la CFE, a la nueva legislación puesta en marcha en 2016 que permite la participación de empresas privadas en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) para promover la competencia entre Productores y Comercializadores y así romper con el monopolio de la CFE.

En la anterior legislación, es decir, con la Ley del Servicio Público de la Energía Eléctrica (LSPEE) existía la figura del Productor Independiente de Energía (PIE), al que el organismo regulador de energía, la Comisión Reguladora de Energía (CRE), le permitía solamente vender su energía eléctrica a la CFE. Ahora con la nueva Ley de la Industria Eléctrica (LIE), aparece la figura de Prosumidor, el cual es un PIE que utiliza la energía que genera para autoconsumo, cogeneración y venta a la CFE. Otra ventaja que se tiene con esta nueva legislación es que el Prosumidor puede generar energía en Alta, Media o Baja Tensión, por lo que un usuario en baja tensión puede ser ahora un productor en baja tensión. El Prosumidor puede ser una persona física o una organización (pequeña o mediana empresa) nombrada persona moral. Ambos tienen las mismas posibilidades de consumir o vender la energía eléctrica que producen en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

El mayor potencial de crecimiento para el nuevo esquema de generación de energía está en la energía solar con los sistemas fotovoltaicos. Las empresas industriales, pequeñas y medianas del país están en camino hacia la producción de su propia energía que consumen; sin embargo, la falta de financiamiento y el lento retorno de inversión desmotivan a esta importante alternativa de generación.

En México existen 4.2 millones de unidades económicas (Secretaría de Economía, 2019), de las cuales el 99.8 por ciento de ellas son pequeñas o medianas empresas (pymes) que aportan el 42 por ciento del producto interno bruto y generan el 78 por ciento del empleo en el país.

En marzo de 2019, la CRE dio a conocer que existen 94 mil 844 techos de este tipo en México, con una capacidad total de poco más de 692 Megawatts (MW). Tan sólo en 2018, se instalaron más de 35 mil, lo que representa un 60 por ciento de crecimiento en el país en un año. Para la generación distribuida (GD), estos contratos contemplan una capacidad instalada de 570.20 MW, mientras que los de pequeña y mediana escala alcanzaron 247.65 MW. Esto se observa en la tabla 1.

De igual manera, la migración hacia la Generación Distribuida se observa en la figura 1, con el aumento en la capacidad instalada y en los contratos otorgados a los PIE.

Por entidad federativa, Jalisco, con 17 mil 97; Nuevo León, con 11 mil 45; y la Ciudad de México, con 7 mil 376, fueron los estados con mayor número de contratos.

	Capacidad instalada (MW)	Contratos (Miles)
Pequeña y Mediana escala	**247,65**	**29.556**
Generación Distribuida	**570,2**	**83.104**
Total	**817,85**	**112.660**

Tabla 1. Evolución Anual, de contratos de pequeña y mediana escala y Generación Distribuida.

Fuente: Comisión Reguladora de Energía, marzo 2019.

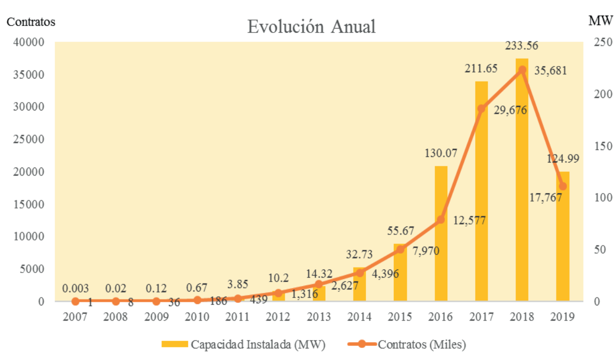


Figura 1. Evolución Anual de capacidad instalada/contratos, según datos de la empresa productiva subsidiaria de la CFE.

Fuente: Comisión Reguladora de Energía, marzo de 2019.

Por capacidad instalada, Nuevo León, con 91.34 MW; Jalisco, con 88.86 MW; Estado de México, con 74.83 MW; así como la Ciudad de México, con 64.68 MW, fueron las

entidades más relevantes en 2018.

Es importante considerar que, en los años, 2019 y 2020 se ha ido frenando ese crecimiento justificando que la Generación Distribuida con energías limpias, como la eólica y la solar fotovoltaica son intermitentes y que no otorgan confiabilidad al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Ejemplos en las restricciones son los acuerdos de CENACE y la SENER del 29 de abril y 15 de mayo de 2020 (SEGOB, 2020).

En la Generación Distribuida, existen plantas generadoras con energías fósiles y con energías limpias. En la tabla 2, se observa que las menores plantas generadoras son las hidroeléctricas, Gas, Biomasa, Diesel o combustóleo, Eólica y Biogás, mientras que la planta generadora de mayor auge es la solar fotovoltaica.

Tecnologías	Capacidad (MW)	No. Contratos	Porcentaje (%)
Hidroeléctricas	0,009	4	0
Gas	0,077	9	0,01
Biomasa	0,81	10	0,1
Diésel o Combustóleo	0,72	13	0,01
Eólica	0,19	19	0,02
Biogás	3,97	49	0,49
Solar Fotovoltaica	812,6	112.500	99,3

Tabla 2. Esquema de participación de las tecnologías, en cuanto a capacidad, contratos y porcentaje.
Fuente: Comisión Reguladora de Energía, marzo de 2019.

METODOLOGÍA

Para este proyecto, se empleó una metodología, partiendo de un análisis socioeconómico a la población, seguido de un censo de carga, luego se realizó una planeación de la red de distribución al interior del poblado junto con el ramal de interconexión, se dimensionó la planta solar fotovoltaica y finalmente un análisis de costos que se presenta al Programa Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE) para obtener el financiamiento de la planta solar fotovoltaica con su tiempo de retorno con el fin de verificar el tiempo en que los beneficios ya serán para la población.

Este estudio tendrá el propósito de sentar las bases para que otras poblaciones marginadas puedan acceder a los programas de financiamiento y de electrificación rural para lograr ser prosumidores de energía eléctrica que participen en el Mercado Eléctrico Mayorista y obtengan beneficios económicos que aumenten su calidad de vida.

La Generación Distribuida y el Código de Red

La DPCA (Distribution Power Coalition of America) la define como cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más

cercanos al consumidor o a la red de transmisión o distribución. Por otra parte, la IEA (International Energy Agency) considera como GD, únicamente, la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, miniturbinas y microturbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica. Bajo este esquema, el SFVIR será eficiente.

Las Disposiciones de Conexión del Código de Red son aplicables a todos los Centros de Carga conectados en Media y Alta Tensión. Lo anterior, independientemente de la demanda contratada, es decir, el cumplimiento del código de Red no se diferencia para los usuarios de Suministro Básico, Calificado, Usuarios Calificados Participantes del Mercado Eléctrico Mayorista, Generación de intermediación, prosumidores, etc. Nuestro SFVIR debe cumplir con estos requerimientos para que sea interconectado al Sistema Eléctrico Nacional.

Situación socioeconómica y censo de carga

El oficio que desempeña el 100% de los jefes de familia es agricultor, y sus ingresos promedio son muy bajos, entre $4500.00 y $7500.00 mensuales (fuente: los mismos pobladores y el comisario), por lo que no cuentan con ingresos fijos ni seguros que proporcionen bienestar para sus familias. Las familias son en promedio de 6 personas: padre, madre y 4 hijos, por lo que los ingresos económicos son insuficientes. Muchos jóvenes y algunas cabezas de familia han tenido que emigrar a las poblaciones cercanas en busca de trabajo. Además, carecen de los servicios público de energía eléctrica y es por eso la necesidad de darles la oportunidad de construirles y dejarles administrar la planta generadora fotovoltaica, previa capacitación y puesta en servicio.

Se realizó un estudio de las viviendas que cuentan con servicio de energía eléctrica proveniente de los tres paneles antiguos con que cuentan. Esto se muestra en la siguiente tabla.

No. de viviendas	Foco incandescente de 100W	Lámpara fluorescente de 54 W	Refrigerador de 700 W
19	cero	4	1
11	2	2	1
4	4	cero	cero

Tabla 3. Resultado del censo de carga eléctrica en las viviendas.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en ambos estudios, las familias no cuentan con recursos económicos suficientes para su manutención y, además, carecen de un servicio público de energía eléctrica eficiente, esto sumado a que no hay servicio de alumbrado público, haciendo peligroso el tránsito de las personas por la noche.

Red de Distribución en el poblado

A través del Departamento de Electrificación Rural de la CFE y los autores de este artículo, se elaboró el proyecto de la Red de Distribución del poblado de Xbilincoc, quién licitará el concurso para su construcción. A continuación, en la tabla 4 se presenta algunas de las estructuras, dispositivos y conductores que se instalarán.

CUADRO DE DISPOSITIVOS AÉREO											
No.	POSTE NUEVO	POSTE DE RETIRO	DISPOSITIVOS								
			MEDIA	BAJA		RETENIDAS		TIERRAS	OMETID	UMINARI	EQUIPOS
				RETIRO	NUEVO	NUEVO	RETIRO				
1	12-750		AD3G/3RF3A			2-RDA		TIE			
2	12-750		TS3N								
3	12-750		TS3N/RD2		1R3			TIE	1	1	2CCF
4	12-750		AD2N		1R3/1R3	RDA				1	
5	12-750		TS3N							1	
6	12-750		RD2N/RD2		1R3/1R3	RDA-REA				1	
7	12-750		TS3N							1	
8	12-750		RD2N/RD2		1R3/1R3	RDA-RBA		TIE	2	1	

Tabla 4. Muestra de algunas estructuras, dispositivos y conductores de la red de distribución del poblado de Xbilincoc.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal de Distribución para el poblado

El circuito de Distribución de la CFE que alimentará al poblado se llama Ukúm (Circuito CMO05030) con un voltaje de 34.5 kV, pero se encuentra a 4.5 km. del punto de interconexión del poblado, por lo que se requiere construir un ramal de alimentación para el poblado. De la misma manera que la Red de Distribución del poblado, este Ramal se construirá con recursos del Departamento de Electrificación Rural de la CFE. En la tabla 5 se muestran algunas de las estructuras, dispositivos y conductores que se instalarán.

CUADRO DE DISPOSITIVOS AÉREO				
No.	POSTE NUEVO	DISPOSITIVOS		
		MEDIA	RETENIDAS	TIERRAS
1	13C-600	CT1G/CT2		
2	13C-600	HA3G	2RDA	1
			2RSA	
3	13C-600	CT1G/CT2		
4	13C-600	CT1G/CT2		1
5	13C-600	CT1G/CT2	TEMPESTAD	
6	13C-600	CT1G/CT2		1
7	13C-600	CT1G/CT2		

Tabla 5. Muestra de algunas estructuras, dispositivos y conductores del ramal de distribución del poblado de Xbilincoc.

Fuente: Elaboración propia.

La Central Generadora Fotovoltaica y sus arreglos fotovoltaicos

Derivado de la necesidad de energía eléctrica en las viviendas del poblado de Xbilincoc, se consideró 4 módulos FV de 440 Wp para cada vivienda, por lo que se tendrá

una carga de 1.76 kW por hogar. Son 34 viviendas en total por lo que la demanda de potencia del poblado será

$$P_{poblado} = 440\ W_p \cdot 4\ módulos \cdot 34\ viviendas = 59{,}840\ W \qquad (1)$$

Y pensando en producir un 50% más para venta directa a CFE, se tendrá:

$$P_{Total} = 150\%\ P_{poblado} = 1.5\ (59{,}840\ \text{W}) = 89{,}760\ W = 89.76\ W \qquad (2)$$

El número de módulos FV se obtiene de

$$No.\ módulos\ FV = \frac{89{,}760\ W}{440\ W} = 204\ módulos \qquad (3)$$

En nuestro diseño se proponen 3 arreglos fotovoltaicos de 24 kW y un arreglo de 17.5 kW. Cada arreglo de 24 kW contará con cadenas (string) de 14 módulos (440 W cada uno) en serie y dos cadenas en paralelo por cada MPPT. El inversor cuenta con 2 MPPT. Por lo tanto, cada inversor tendrá 56 módulos. Para cada arreglo se propone un inversor FRONUIS SYMO 24.0-3 480.

El arreglo de 17.5 kW contará con cadenas (string) de 20 módulos (440 W cada uno) en serie por cada MPPT. El inversor cuenta con 2 MPPT. Por lo tanto, el inversor tendrá 40 módulos. Para este arreglo se propone un inversor FRONUIS SYMO 17.5-3 480.

Selección del módulo fotovoltaico

Se propone un módulo fotovoltaico policristalino, marca CanadianSolar, modelo HiKu SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE de 440 W, con las características que se muestran en la tabla 6.

Características eléctricas					
Potencia (Wp)	Voc (V)	Vmp (V)	Isc (A)	Imp (A)	Eficiencia (%)
440	**48.7**	**40.3**	**11.4**	**10.92**	**19.92**
Características mecánicas y físicas					
Tipo de celda	Arreglo de celdas	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Temp. del módulo (°C)	Masa de aire
Policristalino, Generación III	**2x(12x6) (144 celdas)**	**2108x1048x40**	**24.9**	**25**	**1.5**

Tabla 6. Características eléctricas y mecánicas del módulo FV.

Fuente: elaboración propia.

Selección del inversor

Se selecciona el inversor para la planta solar fotovoltaica. En esta ocasión se

propone un inversor que cumpla con los requerimientos en CD de los arreglos FV mostrados abteriormente y con los puntos de conexión de mppt, además de los requerimientos en CA. Para los 3 arreglos de 24 kW., se ha seleccionado inversores centrales trifásicos para interconexión a la red de la marca FRONIUS modelo SYMO 24.0-3 480, con las características mostradas en la tabla 7.

Inversor Fronius Symo 24.0-3 480						
Potencia FV (kWp)	Número de MPPT	Total de corriente de entrada utilizable (MPPT1+MPPT2) (A)	Máxima Icc por serie FV (A)	Rango de Vcd MPP (V)	Tensión de salida en CA (V)	Corriente de salida en CA (A)
19 – 31	2	51	49.5/37.5	500 - 800	480	28.9

Tabla 7. Características eléctricas de entrada y salida del inversor FV.

Fuente: elaboración propia

De igual manera, para el arreglo de 17. 5 kW se selecciona el inversor para la planta solar fotovoltaica. Se propone un inversor que cumpla con los requerimientos en CD de los arreglos FV y con los puntos de conexión de mppt, además de los requerimientos en CA. Se ha seleccionado inversores centrales trifásicos para interconexión a la red de la marca FRONIUS modelo SYMO 17.5-3 480, con las características mostradas en la tabla 8.

Inversor Fronius Symo 22.7-3 480						
Potencia FV (kWp)	Número de MPPT	Total de corriente de entrada utilizable (MPPT1+MPPT2) (A)	Máxima Icc por serie FV (A)	Rango de Vcd MPP (V)	Tensión de salida en CA (V)	Corriente de salida en CA (A)
14.0 – 23.0	2	51	49.5/37.5	500 - 800	480	21.0

Tabla 8. Características eléctricas de entrada y salida del inversor FV.

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de conductores

Se realizó el cálculo del alimentador que va desde el Tablero de Distribución hacia cada inversor. Para cada inversor que controla 56 módulos FV, tenemos:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L cos\theta} = \frac{24640}{\sqrt{3}(480\ V)(0.9)} = 32.93\ A$$

Calculamos la Icorregida, tomando los siguientes factores para cumplir con la NOM-

001-SEDE-2012: F.C.T. = Factor de corrección por temperatura = 0.88, F.D. = Factor de demanda = 1.0 y F.C.A. = Factor de corrección por agrupamiento = 1.0

$$I_{corr} = \frac{I_{nom}(F.D.)}{(F.C.T.)(F.C.A.)} = \frac{32.93A(1)}{(0.88)(1)} = 37.42\ A$$

De acuerdo con la tabla 310-15(b)2(a) de la NOM-001-SEDE-2012 sobre la ampacidad de conductores, tenemos un alimentador que tenga temperatura nominal de 75° C THHW calibre 8 AWG, con una ampacidad de 50 Amperes y una sección transversal de 8.37 mm^2. Verificamos que cumpla con el criterio de caída de tensión, tomando la distancia del inversor más alejado del tablero de distribución, la cual es 38 m. y tenemos:

$$\%e = \frac{2\sqrt{3}\ L\ I_{nom}}{s\ V_f} = \frac{2\sqrt{3}(38m.)(32.93\ A)}{(8.37\ mm^2)(480V)} = 0.028\% < 3\%$$

De acuerdo con nuestro cálculo, el conductor **THHW calibre 8 AWG** cumple con la NOM-001-SEDE-2012 para el polo positivo y el polo negativo. También para el inversor que controla 40 módulos FV se consideró el mismo calibre.

Cálculo de las protecciones

El interruptor termomagnético para cada uno de los tres arreglos fotovoltaicos de 56 módulos se obtuvo de:

$$I_{máx} = I_{protección} = 125\%\ I_{nom} = 1.25\ (32.93\ A) = 41.16\ A$$

Se requieren 3 interruptores termomagnéticos de **3P-50 Amperes, tipo I-Line.**

Para el inversor de 40 módulos FV, tenemos:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L cos\theta} = \frac{17600}{\sqrt{3}(480\ V)(0.9)} = 23.52\ A$$

Con un interruptor de:

$$I_{máx} = I_{protección} = 125\%\ I_{nom} = 1.25\ (23.52\ A) = 29.4\ A$$

Se requiere 1 interruptor termomagnético de **3P-30 Amperes, tipo I-Line.**

El interruptor principal del tablero I-Line debe ser de:

$$I_{nom} = 3(32.93\ A) + 1(23.52\ A) = 122.31\ A$$

También:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L cos\theta} = \frac{89760}{\sqrt{3}(480\ V)(0.9)} = 122.31\ A$$

El interruptor principal será:

$$I_{máx} = I_{protección} = 125\%\ I_{nom} = 1.25\ (122.31\ A) = 152.88\ A$$

Se requiere 1 interruptor termomagnético de **3P-175 Amperes, tipo I-Line.**

El Tablero de Distribución será trifásico tipo I-Line con su interruptor principal de 3P-175 y de 32 espacios, modelo JG250M141B en gabinete Nema-1.

Capacidad del transformador y su listón fusible

Para obtener la capacidad del transformador, se considera un 15% libre para futuras cargas, y está dada por:

$$kVA = 115\% \frac{kW_p}{cos\theta} = 1.15\left(\frac{89.76\ kW_p}{0.9}\right) = 114.69\ kVA$$

Entonces, se requiere un transformador de distribución trifásico de 150 kVA, elevador de 480-254/34,500 V., conexión Estrella-Delta, con protección contra sobretensiones a base de tres apartarrayos ADA 33 kV.

La acometida en Media Tensión de la CFE será tipo aérea, con conductor AAC calibre 2 AWG, con 3 cortacircuito fusible (CCF) para 34.5 kV y con listón fusible de:

$$I_{primario} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L cos\theta} = \frac{89760}{\sqrt{3}(34500\ V)(0.9)} = 1.66\ A$$

Se requieren 3 listón fusible de 2 Amperes.

La figura 2 ilustra el diagrama de los arreglos de la central generadora de 89.76 kWp.

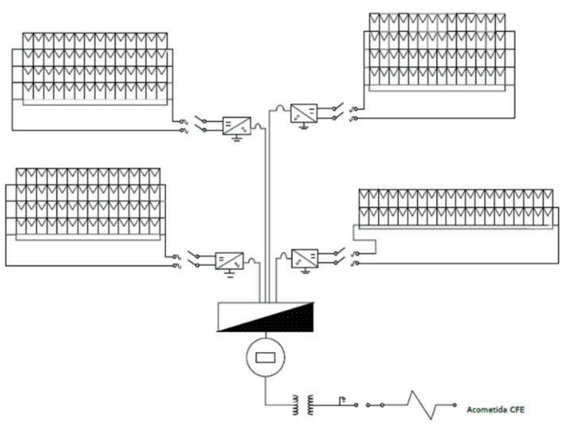


Figura 2. SFVIR para operar como Generación Distribuida.

Fuente: elaboración propia.

Costo y financiamiento de la Central Generadora Fotovoltaica

Para la construcción de la planta generadora fotovoltaica, se acudió a solicitar financiamiento al Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE), el cual otorgará el capital del costo total del SFVIR por un importe de 91,829.84 dólares americanos a través de un contrato entre el Proyecto Servicios Integrales de Energía (PSIE) del Gobierno Federal y la

cooperativa de pescadores, de los cuales alrededor de 45,914.92 dólares serían aportados por el Gobierno Federal como un subsidio de "inversión". El PSIE fue diseñado para apoyar las estrategias y medidas de electrificación rural establecidas por la Secretaría de Energía (SENER) y definidas como prioridad por la administración federal.

Proyección de la producción de la energía generada y sus beneficios

En la tabla 9 se observa un estimado de la proyección de generación de energía mensual. La producción depende del recurso solar, dado en horas solar pico promedio mensuales, y la cantidad de días del mes. Los datos mensuales del recurso solar se obtuvieron de NREL (The National Renewable Energy Laboratory). La energía anual generada será de 193,865.42 kWh anuales en condiciones ideales; pero en la realidad las condiciones climatológicas reales son variantes con el tiempo, existen días nublados, días lluviosos, alguna basura que caiga sobre los módulos FV, entre otros inconvenientes, por lo que se considera empíricamente un 20% de pérdidas (Weber, B,et al, 2020), dando una generación de energía anual de 155,092.33 kWh.

Mes	kWp instalados	Horas solar pico	Días al mes	kWh generados al mes
Enero	89.76	5.25	31	14,608.44
Febrero	89.76	5.86	28	14,727.82
Marzo	89.76	6.48	31	18,030.98
Abril	89.76	6.52	30	17,557.05
Mayo	89.76	6.30	31	17,530.12
Junio	89.76	6.01	30	16,183.73
Julio	89.76	6.06	31	16,862.32
Agosto	89.76	6.15	31	17,112.74
Septiembre	89.76	6.11	30	16,453.01
Octubre	89.76	5.76	31	16,027.54
Noviembre	89.76	5.58	30	15,025.82
Diciembre	89.76	4.94	31	13,745.85
			Producción anual	**193,865.42**

Tabla 9. Proyección mensual de la generación de energía.

Fuente: elaboración propia.

Recordemos que, de esta producción, el 50% aproximadamente será vendida a la CFE, bajo el esquema de contraprestación de **NET BILLING** y será de acuerdo con lo que se registre en el medidor bidireccional al mes. La energía eléctrica que se genera con energías renovables y que se vende a la CFE, tiene un precio entre 80 y 120 dólares por MWh (SENER, 2020). Siendo la solar fotovoltaica la más barata, tomaremos el precio de 80

dólares por MWh y esto nos da un recurso económico anual estimado de

$$\text{Importe anual} = 50\% \text{ Producción anual en MW} \cdot (80 \frac{dólares}{MW})$$

$$\text{Importe anual} = 0.5 \text{ (155.092 MW)} \cdot (80 \frac{dólares}{MW}) = 6203.68 \text{ dolares}$$

Este capital, será utilizado para ser aplicado en dos rubros:

1. El 50% se utilizará para pagar el financiamiento otorgado por el PSIE para la implementación de la planta generadora fotovoltaica, por lo cual dejarían de pagar la inversión en 7.4 años y a partir de ahí, las ventas netas serán para los pobladores.
2. El otro 50% se empleará en mejorar la calidad de vida de las familias de Xbilincoc, a través de la implementación de servicios públicos y programas sociales que apoyen el bienestar de las familias.

La venta de energía se realizará a un suministrador calificado y este lo venderá a la CFE. Con la puesta en marcha de la central generadora fotovoltaica, el poblado de Xbilincoc saldrá de la marginación, esto gracias al apoyo otorgado por Electrificación Rural de CFE, PSIE y el proyecto desarrollado en este artículo.

Beneficios medioambientales

La energía producida por la planta generadora fotovoltaica, en las 5.92 horas promedio anual de radiación solar de un día solar (NREL, 2020), está dada por:

$$E_{prod} = W_{pico} \cdot hr_{rad} \cdot piezas_{módulo\ PV} \qquad (5.5)$$

donde W_{pico} es la potencia pico de un módulo fotovoltaico en Watts, hr_{rad} son las horas de radiación solar en un día, y $piezas_{módulo\ PV}$ representa el número de módulos fotovoltaicos incluidos en la planta de GD-PV.

Derivado de lo anterior, la energía producida por la GD-PV está dada por:

$$E_{prod} = 0.440\ kW\ (5.92\ hr)\ (208\ módulos) = 541.8\ kWh/día$$

Al mes, tendremos:

$$E_{prod\ \ anual} = 0.44\ kW\ (5.92\ hr)\ (208\ módulos)(30\ días) = 16{,}253.95\ kWh/mes$$

Además, de forma empírica escogemos el factor de GEMIS para nuestros cálculos, debido a que se encuentra dentro del rango de Reich. Entonces, las emisiones de CO_2 que se evita enviar al medio ambiente $\in_{cons}$ por la energía que produce la planta generadora fotovoltaica es:

$$\in_{cons} = 0.582\ \frac{kg\ CO_2}{kWh}\ (16{,}253.95\ kWh) = 9{,}459.8\ kg\ CO_2$$

Las emisiones de CO_2 producidas $\in_{prod}$ causadas por la producción de energía con la GD-PV son:

$$\in_{cons} = 00.135\ \frac{kg\ CO_2}{kWh}\ (16{,}253.95\ kWh) = 2{,}194.28\ kg\ CO_2$$

Finalmente, las emisiones de CO_2 netas $\in_{net}$ que se evita enviar a la atmósfera es la diferencia entre $\in_{cons}$ y $\in_{prod}$:

$$\in_{net} = \in_{cons} - \in_{prod} = 9{,}459.8\ kg\ CO_2 - 2{,}194.28\ kg\ CO_2 = 7{,}265.52\ kg\ CO_2$$

Este es un dato significativo, muestra que se están dejando de emitir al medio ambiente **7.265** Toneladas de CO_2 mensual, el cual es un aporte revelador para la disminución de la huella de carbono.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto desarrollado proporciona una metodología para la implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red a través de la Generación Distribuida en poblaciones marginadas, dicho proyecto incluye un ramal y una red de distribución para suministrar energía eléctrica en Media y Baja Tensión al poblado de Xbilincoc, Hopelchén, Campeche. Esta central generadora fotovoltaica traerá bienestar y progreso a las familias del poblado y será construido a través de un financiamiento con subsidio del Gobierno Federal.

Los cálculos y las consideraciones realizadas para obtener la capacidad y todos los elementos de un SFVIR son una metodología con resultados importantes y concluyentes para que empresas del sector industrial, comercial, residencial y de servicios se integren al Mercado Eléctrico Mayorista como prosumidores.

Las futuras áreas de investigación identificadas en este artículo son:

- Definir una metodología para que los prosumidores cumplan con los requerimientos de Código de Red.
- Implementar una metodología para la puesta en servicio de un SFVIR.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo para un SFVIR en poblaciones marginadas.

REFERENCIAS

Cámara de Diputados. 2017. *"Reglamento de la Ley de Transición Energética*". Art. 12. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/y/Reg_LTE_040517.pdfregle

Carbajal Quintero, S. X., & Marín Jiménez, J. D. 2013*. Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico*. Revista Dialnet, Tecnura. Vol. 17, No. 35, pp. 77 – 89.

Centro Nacional de Control de Energía. 2020. *ACUERDO para garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional, con motivo del reconocimiento de la epidemia de la enfermedad por el virus SARS-CoV2 (COVID-19)*. 29 de abril de 2020. Recuperado de: https://www.cenace.gob.mx/Docs/MarcoRegulatorio/AcuerdosCENACE/Acuerdo%20para%20garantizar%20la%20eficiencia,%20Calidad,%20Confiabilidad,%20Continuidad%20y%20seguridad%20del%20SEN%202020%2005%2001.pdf

Comisión Federal de Electricidad. 2016. *"Postes de concreto; especificación CFE J6200-03"*, Recuperado de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/carga_pagina.asp?pag=J6200-03.pdf

Comisión Federal de Electricidad. 2019. *"Apartarrayos para líneas aéreas de transmisión de corriente alterna de 161 kV a 400 kV; especificación CFE 52100-93"*. Recuperado de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/carga_pagina.asp?pag=52100-93.pdf

Comisión Federal de Electricidad. 2019. *"Cuchillas seccionadoras en aire de 15 kV a 145 kV con automatismo inteligente; especificación CFE V4200-73"*, agosto 2019. Recuperado de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/carga_pagina.asp?pag=V4200-73.pdf

Elba Mendoza. 2019. Energy Management Magazine. *Generación Distribuida para PYMES*, Año 7, No. 3, páginas 26-31.

Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2020. Recuperado de: https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-reitera-su-compromiso-con-el-cumplimiento-del-acuerdo-de-paris

Parámetros solares y climatologías meteorológicas mensuales y anuales. Recuperado de: https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Ramírez Castaño, S. 2004. *Redes de Distribución de Energía.* (3era. Ed.). Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Reich, N. H., Alsema, E. A., Van Sark, W.G.J.H.M., & Nieuwlaar. E. 2007. "*CO2 Emissions of PV in the perspective of a renewable energy economy*". 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, pp. 3538-3542.

SEGOB, Diario Oficial de la Federación. 2020. ACUERDO por el que se emite la Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico Nacional. 15 de mayo de 2020. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5593425&fecha=15/05/2020

Weber, B., Magaña-López, R., Martínez-Cienfuegos, I. G., Durán-García, M. D., & Stadlbauer, E.A. 2020. "*Current status of photovoltaic plants in Mexico – An analysis based on online monitoring*". Energy for Sustainable Development. Volumen 57, Pages 48-56. https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.05.003

SOBRE O ORGANIZADOR

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN: Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutor em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

ÍNDICE REMISSIVO

A

B

C

D

F

G

H

I

L

M

P

R

S

T

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023